

ANÁLISE MULTIVARIADA COMO FERRAMENTA PARA ORIENTAR O DESENHO DE ESPAÇOS URBANOS TERMICAMENTE APTOS. ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE CAMPINAS, BRASIL E DE MENDOZA, ARGENTINA

Noelia L. Alchapar (1); Claudia C. Pezzuto (2); Erica Correa (3)

(1) *Dra, Becaria Pos doctoral do CONICET, nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar

(2) **Prof^a Dr^a, docente permanente do Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, claudiapezzuto@puc-campinas.edu.br

(3) *Dra, Investigadora Independiente do CONICET. ecorrea@mendoza-conicet.gob.ar

* Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE). CCT-Mendoza. CONICET. Av. Ruiz Leal S/N. Parque Gral. San Martín. C.C.131 C.P. 5500. Mendoza, Argentina. Tel. 0261-5244310.

** Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Rodovia Dom Pedro, km 136 Parque das Universidades, CEP 13086-900 - Campinas - SP, Tel: (19) 3343-7239.

RESUMO

Com a finalidade de determinar e comparar a eficiência de diversas estratégias de resfriamento urbano em duas cidades Latinoamericanas foram simulados 18 cenários nas cidades de Campinas, Brasil e Mendoza, Argentina. Mediante a Análise de Componentes Principais (ACP) foram avaliadas as possíveis associações entre as variáveis. Como resultado obteve-se que 75% do comportamento da temperatura do ar no cânion urbano em ambas as cidades são explicados pela porcentagem de vegetação e o albedo médio das superfícies urbanas opacas.

Palavras-chave: temperaturas urbanas, análise multivariada, vegetação urbana, albedo dos materiais.

ABSTRACT

In order to determine and compare the efficiency of various urban cooling strategies in two Latin American cities, 6 scenarios were simulated in the city of Campinas-Brazil- and Mendoza -Argentina-. Through the analysis of principal components (PCA) the possible associations between the variables were evaluated. As a result it was obtained that 75% of the air temperature behavior in the urban canyon in both cities is explained by the percentage of vegetation and the average albedo of the opaque urban surfaces.

Keywords: urban temperatures, multivariate analysis, urban vegetation and materials albedo.

1. INTRODUÇÃO

As cidades alteram os parâmetros do clima local. A combinação do aumento do consumo de energia e a diferença no balanço radiativo provocam um incremento na temperatura do ar urbana entre 1,3°C a 15°C (OKE 1982; ARNFIELD 1982; GIVONI, 1994). Este aumento na temperatura do ar agrava o consumo de energia para refrigeração e a demanda elétrica nas horas de pico, assim como também intensifica a poluição do ar e a pegada urbana, causando desconforto ambiental e problemas na saúde humana (SANTAMOURIS, SYNNEFA e KARLESSI, 2011; MIRZAEI e HAGHIGHAT, 2010; KOLOKOTRONI e RENGANATHAN, 2008).

O aumento das temperaturas do ar urbanas depende de vários fatores que podem ser classificados em controláveis e incontroláveis (RIZWAN et. al., 2008). As variáveis incontroláveis estão relacionadas às características ambientais e topográficas específicas da área, tais como a radiação solar, porcentagem de nebulosidade, condições anticiclônicas e estacionais, velocidade e direção dos ventos, entre outros. Entre as variáveis controláveis pode ser citada principalmente a libertação do calor antropogênico; armazenamento excessivo de radiação solar nas estruturas de edifícios; morfologia urbana e vias que obstruem a circulação do ar, propriedades termofísicas dos materiais presentes nas superfícies urbanas, baixo nível de albedo urbano, e diminuição das superfícies verdes em relação as superfícies impermeáveis que limitam a evapotranspiração.

A preocupação com as questões ambientais tem favorecido o desenvolvimento de estratégias que propiciam a redução das temperaturas urbanas, no entanto, poucos estudos abordam o impacto destas estratégias em diferentes cidades. É por este motivo que este trabalho se propõe a detectar, em termos quantitativos, quais estratégias de resfriamento urbano são mais eficientes em duas cidades latino-americanas, Campinas – Brasil e Mendoza – Argentina. Estas cidades têm padrões comparáveis de crescimento e capacidades tecnológicas e econômicas. Para este fim mediante uma Análise de Componentes Principais (ACP) se explica as possíveis associações que existem entre as diversas estratégias analisadas: porcentagem de vegetação e nível de albedo das superfícies urbanas opacas das vias, paredes, cobertura e calçadas e pisos.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo dar continuidade a investigação realizada por Alchapar et al. (2016). Assim foi estudado o comportamento climático de um cânion urbano na cidade de Campinas (Brasil) e Mendoza (Argentina). A partir de simulação computacional no programa ENVI-Met, foram propostos cenários de estudos com variação no nível de porcentagem de vegetação e nível de albedo dos elementos de superfície urbana (cobertura, piso, vias e paredes), e análise do seu respectivo comportamento na variação da temperatura do ar.

3. MÉTODO

Para identificar a relação entre a temperatura do ar e as variáveis: albedo, fator de visão do céu e porcentagem de vegetação nas duas cidades foram seguidas as seguintes etapas: seleção das áreas de estudos de cada cidade e monitoramento das condições microclimáticas no período de verão (3.1); digitalização e ajuste do modelo tridimensional no programa ENVI-Met 3.1(3.2); simulação dos cenários de estudos propostos (3.3); Análise Multivariada por Componentes Principais. Descrição do método (3.4).

3.1. Áreas de estudos e monitoramento microclimático

Para detectar quantitativamente quais estratégias resultam mais efetivas em distintos contextos climáticos foram selecionados dois recortes urbanos, um na cidade de Campinas, Brasil e outro na cidade de Mendoza, Argentina. Ambas as cidades possuem padrões de morfologia urbana comparáveis (ALCHAPAR et. al, 2016).

A área de estudo da cidade de Campinas (S 22°53'20" S, O 47°04'40" O, altitude média 680m) está localizada em uma área central da cidade, em uma região de ocupação horizontal de baixa densidade consolidada de uso misto (residencial e comercial). Os edifícios apresentam altura aproximada média de 4 metros, com altura máxima de 7 metros. A área apresenta aproximadamente 20% de vegetação urbana no cânion urbano. Em destaque espécies de médio porte entre 7 e 10 metros de altura encontra-se a Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) e Pata de Vaca (*Bauhinia variegata*) e pequeno porte Chorão (*Salix babylonica*). O traçado urbano apresenta uma malha ortogonal com vias urbanas asfaltadas e calçadas com 50% pedra calcária amarela e avermelhada e 50% de concreto. Os telhados são inclinados e com

predominância de telhas avermelhadas, pequena porcentagem de chapas metálicas e lajes. No plano vertical das fachadas encontra-se materiais de pedras e pintura com tonalidades variadas.

A área de estudo da cidade de Mendoza (S 32°54'48" S. O 68°50'46" O, altitude média 750m) está localizada a sudeste da área metropolitana, com ocupação predominantemente horizontal de baixa densidade e uso misto (residencial e comercial). Os edifícios apresentam altura aproximada de 4 metros, com altura máxima de 9 metros. A área apresenta aproximadamente 60% de vegetação nos cânions urbanos. As espécies predominantes de porte médio entre 7 a 10 metros de altura, entre elas destaca-se a Amoreira Branca (*Morus alba*) e em menor número o Jacaraná-minoso (*Jacarandá mimosifolia*) e Plátano (*Platanus x hispanica*). Os materiais das superfícies urbanas são de concreto asfáltico nos pavimentos veiculares, e pedra calcária amarela, vermelha e preta nas calçadas. Aproximadamente 80 % dos telhados são planos de laje maciça e 20 % de telha metálica ou telhas cerâmicas. No plano vertical as fachadas são de tijolos, lajes ou gesso em tons variados.

A avaliação climática em ambas as áreas, Mendoza e Campinas foi realizada na estação de verão. O monitoramento ocorreu em dia estável, sem ocorrência de precipitações. Na cidade de Campinas a coleta de dados ocorreu no dia 23 de fevereiro (temperatura do ar máxima diária 33,0°C, temperatura do ar mínima diária 20,5°C e temperatura do ar média 26,0°C, radiação global média do mês de fevereiro 355,00 W/m²; umidade relativa do ar 67,0 %). Na cidade de Mendoza os registros foram do dia 14 de janeiro (temperatura do ar máxima diária 36,0°C, temperatura do ar mínima diária 21,0°C e temperatura do ar média 27,0°C, radiação global média do mês de fevereiro 303,08 W/m²; umidade relativa do ar 42 %).

Para a calibração dos dados simulados e medidos foram coletadas as variáveis de temperatura do ar e umidade relativa do ar. A coleta destas variáveis foi realizada através de estações fixas em pontos centrais em cada área de estudo (tabela 2). Os equipamentos de medição foram: TESTO 174H (precisão de temperatura: ± 0,5 ° C de -20 a +70 ° C e precisão de umidade: ± 3% de 2% HR a 98% RH, ± 1 dígito +0,03% RH/K) em Campinas; e HOBO® H08-003-02 (precisão de temperatura: ± 0,7°C de +21°C e precisão de umidade: ± 5% de + 5°C a +50°C) em Mendoza. Ambos os equipamentos foram instalados em uma calçada perto do centro da quadra, dentro de protetores que evita a incidência direta de radiação solar e também a proteção contra intempéries (HOBO RS1 Solar RadiationShield).

Os dados de velocidade e direção do vento na altura de 10 metros foram coletados a partir de estações meteorológicas urbanas de referências. Na cidade de Campinas os dados coletados foram do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), distante aproximadamente 2.5 km, noroeste, da área de estudo. Os dados da cidade de Mendoza foram coletados do Observatório do Parque General San Martín, distante aproximadamente da área de estudo 4 km, noroeste. Os dados de umidade específica foram obtidos a partir do Aeroporto Campo de Marte (Estação número– 83779) para a cidade de Campinas e do Aeroporto de Mendoza (Estação número– 87418) a partir da Universidade de Wyoming.

Em ambas as cidades o recorte contemplou uma área de 210x210 metros. Os recortes selecionados representam regiões de baixa densidade e proximidade com o centro urbano.



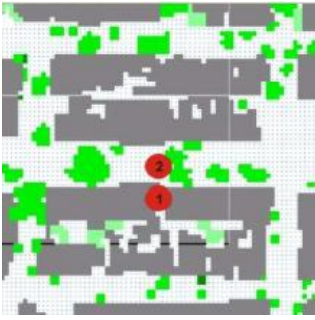

Tabela 1– Parâmetros de entrada para a simulação no Programa ENVI-MET. Cidade de Campinas (Brasil) e Mendoza (Argentina).

Dados Principais	Campinas	Mendoza	Dados Principais	Campinas	Mendoza
Velocidade do vento 10 m [m/s]	1,9	3	Temperatura Inicial Atmosférica [K]	295,4	300
Direção do Vento (0:N.90:E.180:S.270:W.)	135	150	Umidade Específica 25000 m [g Water/kg air]	8,2	2,8
Rugosidade	0,1*	0,1*	Umidade Relativa 2m [%]	65,7	28

3.2. Simulação no programa ENVI-Met e calibração

O microclima deste estudo foi simulado no programa ENVI-Met V3.1 (Beta) que simula as interações entre as superfícies urbanas, vegetação e atmosfera, a partir de modelos de simulação dos fluxos de ar, turbulências, perfis de temperatura do ar e umidade relativa do ar e fluxos de radiação (BRUSE e FLEER, 1998). Como as áreas de estudos contemplaram um recorte urbano de 210x210 m, as simulações nas duas áreas foram realizadas com 70x70x30 (X, Y, Z) grids, com uma resolução de grid 3 x 3 x 3m. A tabela 1 detalha os dados de entrada no programa. A tabela 2 mostra as áreas de estudos. Os dados de saída do programa ENVI-Met foram calibrados pelo receptor 1 (localizado no mesmo local do ponto observado) e analisados pelo receptor 2 o qual foi localizado no centro do cânion.

Tabela 2- Área de estudo - Campinas (Brasil) e Mendoza (Argentina). Ponto 1 (Ponto de Calibração). Ponto 2 (Ponto de Análise)

Campinas	Mendoza
Área de Estudo	Área de Estudo
	
Modelo Digitalizado ENVI-MET	Modelo Digitalizado ENVI-MET
	

Fonte: Adaptado ENVI-Met e Google Earth, 2017

Para verificar a acurácia do modelo foi comparada a curva de temperatura do ar simulada a partir do ponto simulado (S) e a curva de temperatura do ar observado, ponto de análise observado (O), em ambas as cidades. Foram calculados o erro médio quadrático (RMSE - Root Mean Square Error) e seus componentes Sistemático (RMSES) e o Não Sistemático (RMSEu), o desvio das médias (MBE - Mean Bias Error), e o Coeficiente de Determinação (R^2). Os resultados mostram uma correspondência similar entre os pontos observados (O) e simulados (S), em ambas as cidades. O R^2 próximo a 1 indica um bom ajuste do modelo. As magnitudes baixas do indicador RMSE e seus componentes RMSES e RMSEU sugerem que os cenários simulados refletem um bom ajuste das condições microclimáticas observadas nas áreas de estudo da cidade de Campinas e Mendoza (tabela 3).

Tabela 3- Erros, escores e índices estatísticos. Validação da simulação no ENVI-Met.

	R^2	RMSE	RMSEs	RMSEu	MBE
Campinas	0,97°C	1,59°C	1,33°C	0,64°C	-1,03°C
Mendoza	0,99°C	0,86°C	0,52°C	0,50°C	0,49°C

3.3. Cenários propostos

A partir da digitalização da área de estudo das duas cidades foram estudados diferentes cenários de estudos. Assim foram propostos variação na porcentagem de vegetação e nível de albedo dos elementos de superfície urbana (telhados, paredes, pavimentos de pedestres e pisos e vias).

A tabela 4 expressa a variação da porcentagem de vegetação em 0%, 20% e 60% nos cânions de estudo das duas cidades. A porcentagem de 20% contempla o cenário atual de Campinas (Brasil) e 60% o cenário atual de Mendoza (Argentina).

O nível de albedo apresentou 3 classes: o nível N1 o qual é a situação atual das duas cidades, o nível N2 foi proposto um albedo alto em todas as superfícies urbanas das envoltentes e o N3 albedo alto em todas as superfícies, exceto nas paredes. Todos os cenários foram propostos para as duas cidades de estudos.

Tabela 4-Variação da porcentagem de vegetação e nível de albedo das envolventes urbanas

Parâmetros	
Vegetação nos cânions urbanos	0% : ausência de vegetação nos cânions urbanos 20% de vegetação nos cânions urbanos 60% de vegetação nos cânions urbanos
Nível de albedo das superfícies urbanas	N1 : Albedo de coberturas (ALB_ Cob) = 0,30; Albedo de paredes (ALB_ Par) = 0,20; Albedo de vias (ALB_ Via) = 0,2-0,3, Albedo de calçadas e pisos (ALB_ Piso)= 0,2-0,40.
	N2 : Albedo de coberturas (ALB_ Cob) =0,80; Albedo de paredes (ALB_ Par) = 0,80; Albedo de vias(ALB_ Road) = 0,70 e Albedo de calçadas e pisos (ALB_ Piso)=0,7.
	N3 : Albedo de coberturas (ALB_ Cob) =0,80; Albedo de paredes (ALB_ Par) = 0,20; Albedo de vias (ALB_ Via) = 0,70, Albedo de calçadas e pisos (ALB_ Piso)=0,7.

A tabela 5 detalha as especificações adotadas em cada cenário que modificam as configurações a partir da porcentagem de vegetação e nível de albedo das superfícies urbanas

Tabela 5- Codificação (COD) dos cenários de estudo segundo a porcentagem de vegetação (VEG) e nível de albedo das superfícies urbanas (N1, N2, N3)

Nível de albedo	VEG	DOC
N1	60% veg	1.a**
	20% veg	1.b*
	0% veg	1.c
N2	60% veg	2.a
	20% veg	2.b
	0% veg	2.c
N3	60% veg	3.a
	20% veg	3.b
	0% veg	3.c
* Corresponde a situação atual da área de estudo da cidade de Campinas, Brasil.		
** Corresponde a situação atual da área de estudo da cidade Mendoza, Argentina.		

3.4. Análises Multivariadas por Componentes Principais (ACP). Descrição do método

Como objetivo de analisar o conjunto de dados simulados e as possíveis associações entre as variáveis foi feita uma Análise de Componentes Principais. A Análise de Componente Principal (ACP) é uma Análise Estatística Multivariada e como ferramenta de análise exploratória permite revelar a existência ou não de relações entre as variáveis medidas e de relações ou agrupamentos entre amostras.

A ACP possibilita a investigação de um conjunto de p variáveis correlacionadas e transforma o conjunto de variáveis originais em um novo conjunto de variáveis não-correlacionadas nomeadas como componentes principais, os quais têm propriedades especiais em termos de variâncias. As componentes principais são combinações lineares das variáveis originais e derivadas em ordem decrescente de importância. Assim, a primeira componente principal é a combinação linear normalizada com variância máxima e a segunda componente principal é a combinação linear com variação máxima em direção ortogonal a primeira componente principal. (RENCHER, 2002).

A Análise de Componente Principal (ACP) pode ser conduzida através da matriz de correlação (R) ou pela matriz de covariância (S). Para esta pesquisa foi utilizada a matriz de correlação, a qual trabalha variáveis mensuradas em diferentes unidades (WILKS, 2006).

Os dados iniciais utilizados para a ACP neste estudo foram provenientes das variáveis dos 9 cenários de estudo para cada cidade (Campinas – Brasil e Mendoza – Argentina), totalizando 18 cenários. Para a realização da ACP foram reunidos em uma matriz os dados de temperatura do ar a cada 30 minutos de um dia de medição de todos os cenários de estudos e a tabulação das variáveis: fator de visão do céu (FVC), albedo das paredes (ALB_Par), albedo das coberturas (ALB_Cob), albedo das calçadas e pisos (ALB_Piso) albedo das vias (ALB_Via), porcentagem de vegetação (VEG).

As análises multivariadas contemplaram duas etapas: uma análise conjunta das duas cidades (Campinas e Mendoza) e uma análise individualizada de cada cidade de estudo. Como mencionamos anteriormente, com o objetivo de uma análise geral ou um subconjunto de dados coletados e as possíveis associações entre variáveis utilizando a Análise de Componentes Principais - ACP, as melhores correlações são aquelas que mostram uma maior porcentagem de explicação de um fenômeno com menor número de fatores discutidos.

4. RESULTADOS

4.1. Análise Descritiva

Os resultados das simulações dos 9 cenários analisados para cada cidade (total de 18 cenários) constituem o universo da análise estatística.

A figura 1 demonstra a variação dos diversos fatores para as duas cidades de estudo, considerando os valores de temperatura do ar (TEMP) de um dia de medição a cada 30 minutos. Observa-se que o total das variáveis independentes coletadas (albedo de paredes, coberturas, vias, calçadas e pisos, porcentagem de vegetação e fator de visão do céu (FVC) foram similares para ambas as cidades, o qual justifica sua comparação. Ressalta-se que a variação na variável Fator de Visão do céu (FVC) apresentou uma diferença devido à altura das edificações, diferentes no cenário atual de cada cidade. Também apresentaram variações o nível de albedo das superfícies de pedestre e vias nas duas cidades, devido aos elementos de superfície urbana. O nível de albedo das paredes e telhados foram fixados para as duas cidades, utilizando o padrão do modelo no ENVI-Met.

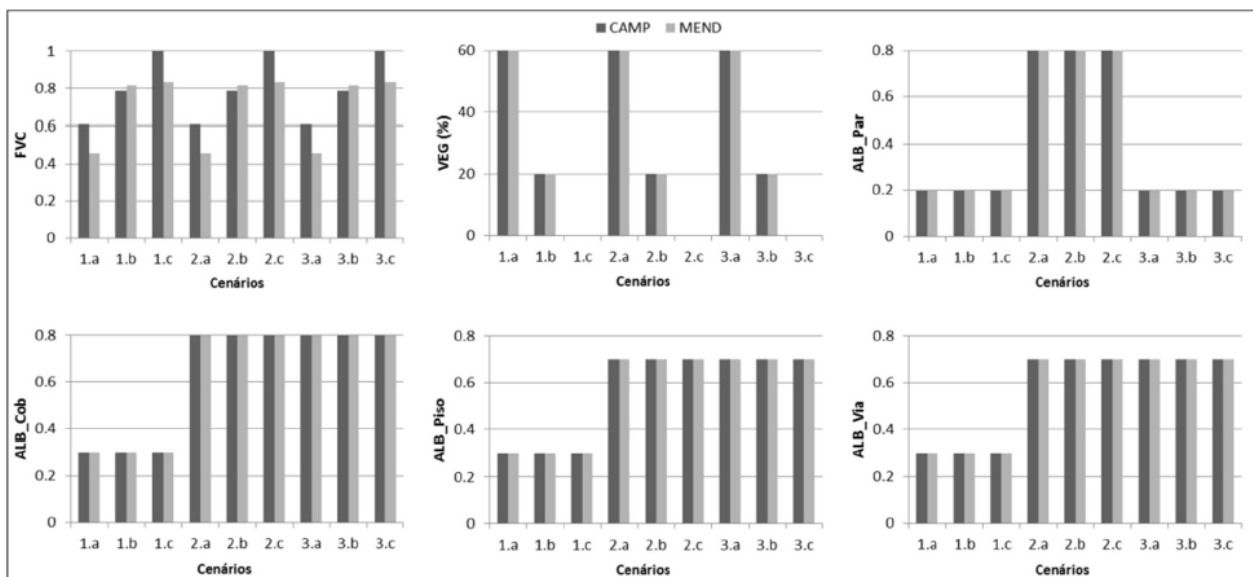


Figura 1 - Caracterização das variáveis, Cenários de estudos em Campinas (CAMP) e Mendoza (MEND).

A figura 2 detalha os valores de temperatura do ar máxima (Temp_Max), mínima (Temp_Min), amplitude térmica (Ampl_Termica) e Temperatura do ar Média (Temp_Média) do total de cenários simulados.

A figura 3 mostra as temperaturas do ar em todos os cenários simulados para cada cidade Campinas e Mendoza. O cenário 1.a (baixo albedo e 60% de vegetação) corresponde a área atual de Mendoza, e o cenário 1.b (baixo albedo e 20% de vegetação) corresponde a área atual de Campinas. Ao comparar apenas

os cenários atuais verifica-se que a cidade de Mendoza é mais quente do que Campinas. Embora a situação atual de Mendoza tem uma porcentagem mais elevada de vegetação (60%) que Campinas (20%), Mendoza atinge uma temperatura média do ar de 28 °C, enquanto Campinas registra 25°C. Isto significa que Mendoza é mais quente 4 °C que Campinas durante os picos de temperatura do ar, e o período de arrefecimento Mendoza eleva 2 °C.

Os cenários que incluem 60% de vegetação (1.a, 2.a e 3.a) demonstram baixas temperaturas do ar urbano. Assim como o aumento da vegetação diminui a temperatura do ar em todos os cenários. Aumentar o albedo em todas as superfícies urbanas opacas (2.a, 2.b e 2.c) geralmente diminui as temperaturas máximas do ar. Partindo dos cenários atuais em cada cidade, em Campinas esta estratégia reduz a temperatura do ar aproximadamente em 1 °C, e em Mendoza, reduz a temperatura em 1,5 °C. Os cenários com albedo combinado (3.a, 3.b e 3.c), albedo alto em superfícies horizontais e baixo albedo para a vertical (3.a, 3.b e 3.c), partindo dos cenários atuais em cada cidade, verificamos que em Campinas, esta reduz a temperatura do ar até 1,8 °C e, em Mendoza, a temperatura do ar diminui em 2 °C.

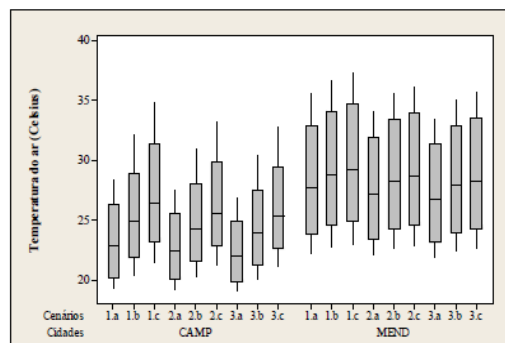
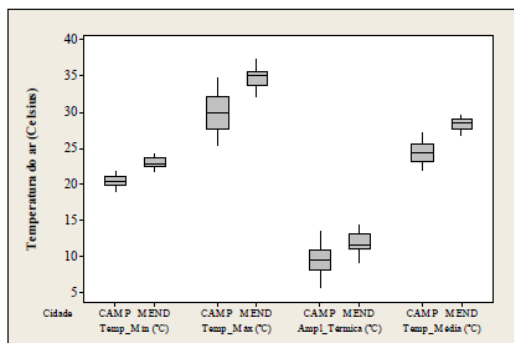


Figura 2 - Diagramas de temperaturas máximas (°C), temperaturas mínimas (°C), temperatura média (°C) e amplitude térmica (°C) de Campinas e Mendoza. Figura 3 - Boxplot de temperatura do ar. Cenários de estudos de Campinas e Mendoza.

4.2. Análises Multivariada de Componentes Principais

A primeira fase da análise contemplou o conjunto das variáveis fator de visão do céu (FVC), albedo das paredes (ALB_Par), albedo das coberturas (ALB_Cob), albedo das vias (ALB_Via), albedo das calçadas e pisos (ALB_Piso), porcentagem de vegetação (VEG) e as respectivas variações de temperatura do ar (TEMP) a cada 30 minutos em um dia de simulação.

A segunda fase da análise contemplou a adoção de um subconjunto de variáveis. Para tanto, as variáveis referenciadas pelos albedos (ALB_Par, ALB_Cob, ALB_Piso e ALB_Via), foram reduzidas para um conjunto de variáveis únicas. Assim foi adotado uma nova variável o Albedo Médio (ALB_Med), representada pelas médias das quatro variáveis adotadas. Segundo Jolliffe (1972 e 1973) em análises multivariadas o emprego de um subconjunto, a partir de um grande número de características, não promove mudanças significativas nos resultados. É certamente útil reduzir o número de variáveis, se possível, para as variáveis presentes que complicam os dados, e não apresentam quaisquer informações extras. Consequentemente, a avaliação de um menor número de variáveis possibilita a economia de tempo, tanto na tomada de dados quanto nas análises computacionais, além de reduzir os custos em análises futuras. Muitos métodos são possíveis para decidir quais as variáveis serão descartadas, mas, na prática, a experiência e intuição, muitas vezes desempenham um papel na seleção.

4.2.1. Avaliação conjunta das duas cidades (Campinas e Mendoza)

As tabelas 6 e 7 e a figura 4 apresentam os resultados de um modelo com duas componentes, o qual apresentou boa representatividade dos dados estudados, 75,8% e 75,6% da variância total para as variáveis individualizadas do Albedo das envolventes e do subconjunto do Albedo Médio, respectivamente. O primeiro conjunto foi apresentado com 7 variáveis e o segundo com 4 variáveis. Desta forma o subconjunto do Albedo Médio (ALB_Med) apresentou boa representatividade para o prosseguimento das análises, considerando que a primeira componente responde por 47,5% e 49,3% do conjunto total de variáveis e do subconjunto do albedo, respectivamente.

Assim nos cenários com o albedo Medio (ALB_Médio), 75,6% do comportamento da temperatura do ar no cânion urbano (TEMP) é explicado por dois fatores: porcentagem de vegetação (VEG) e albedo médio (ALB_Med). A partir da matriz de cosseno do quadrado, verificamos que o primeiro fator (PC1) está relacionado com as variáveis de porcentagem de vegetação (VEG) e fator de visão do céu (FVC). A variável

dependente temperatura do ar (TEMP) está inversamente relacionada com a porcentual de vegetação (maior VEG – menor TEMP, vice-versa), e diretamente relacionado com o FVC (menor FVC menor TEMP). Isto significa que para os cenários o primeiro fator está relacionado diretamente com a porcentagem de vegetação nos cânions urbanos onde os valores de FVC dependem da altura dos elementos arbóreos e das edificações.

O segundo fator (PC2) está claramente representado pelo albedo médio (ALB_Med). A temperatura do ar está inversamente relacionada com o albedo médio dos materiais de superfície urbana. Ou seja, o aumento do albedo médio das superfícies urbanas (ALB_Med) diminui a temperatura do ar (TEMP) nos cânions urbanos. Em todos os cenários, em ambas as cidades, os resultados obtidos nas análises estatísticas multivariadas coincidem com os cenários simulados.

Tabela 6-Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas das variáveis de estudo por Componente Principal (PC), baseados nos cenários de estudo, em ambas as cidades (Campinas e Mendoza).

Matriz de correlação (TEMP, VEG, ALB_Piso, ALB_Via, ALB_Cob, ALB_Par, FVC)							
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Autovalor (Variância)	3,324	1,984	0,9465	0,6738	0,067	0,0047	0
Variância (%)	0,475	0,283	0,135	0,096	0,01	0,001	0
Variância Acumulada (%)	0,475	0,758	0,894	0,99	0,999	1	1
	PC1	PC2	PC3	PC4			
Autovalor (Variância)	1,9851	1,0399	0,9086	0,0663			
Variância (%)	0,496	0,26	0,227	0,027			
Variância Acumulada (%)	0,496	0,756	0,983	1			

Tabela 7- Escores das variáveis de estudo em relação ao primeiro e segundo Componente Principal, Ambas as cidades, Campinas e Mendoza.

Variável	PC1	PC2	Variável	PC1	PC2
TEMP	-0,056	0,237	TEMP	-0,241	0,531
VEG	0,01	-0,694	VEG	0,694	0,071
ALB_Piso	0,541	0,014	ALB_Med	0,018	-0,833
ALB_Via	0,539	0,011			
ALB_Cob	0,541	0,014			
ALB_Par	0,348	0,016			
FVC	-0,01	0,679	FVC	-0,678	-0,137

4.2.2. Avaliação individualizada de cada cidade Campinas e Mendoza

Para reforçar as conclusões anteriores, os conjuntos de amostras foram analisados separadamente: simulações correspondentes aos cenários com o subconjunto de albedo médio (Tabela 8 e 9 e Figura 5). Observa-se que em 81,1% e 76,2%, cidade de Campinas e Mendoza, respectivamente, o comportamento da temperatura do ar pode ser explicado por dois fatores principais. Em ambas as cidades, o primeiro fator está relacionado com a porcentagem de vegetação (maior VEG – menor TEMP, vice-versa) e o segundo fator está relacionado com o albedo médio das superfícies urbanas (maior ALB_Med - menor TEMP, vice-versa).

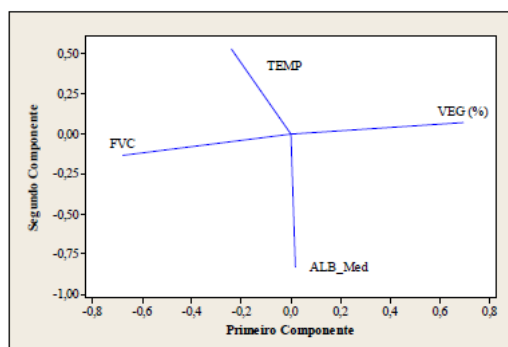
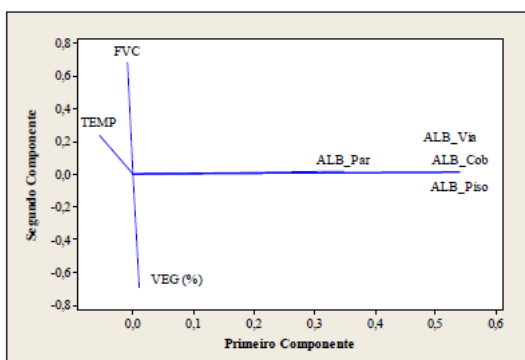


Figura 4 - Campinas e Mendoza. Componente principais para as variáveis TEMP, VEG, ALB_Piso, ALB_Via, ALB_Cob, ALB_Par (esquerda) e as variáveis TEMP, VEG, ALB_Med, FVC (direito).

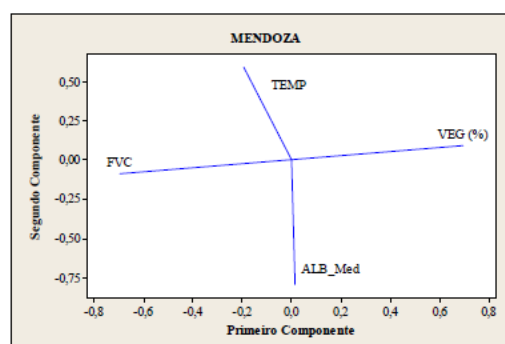
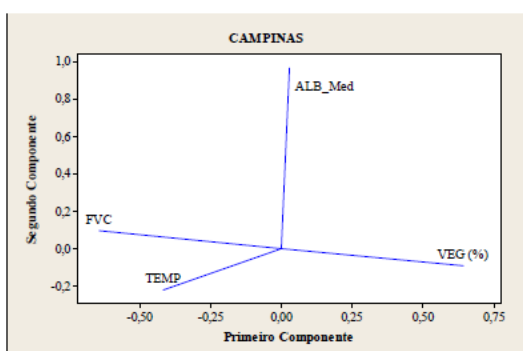


Figura 5- Componente principais para as variáveis TEMP, VEG, ALB_Med, FVC. Campinas (direita), Mendoza (esquerdo).

Tabela 8- Resultados dos autovalores, variâncias e variâncias acumuladas das variáveis de estudo por Componente Principal (PC), baseados nos cenários de estudo, nas duas cidades Campinas e Mendoza.

Matriz de correlação (TEMP, VEG, ALB, Med, FVC)				
	Campinas (Brasil)			
	PC1	PC2	PC3	PC4
Autovalor (Variância)	2,2253	1,0185	0,726	0,0301
Variância (%)	0,556	0,255	0,182	0,008
Variância Acumulada (%)	0,556	0,811	0,992	1
	Mendoza (Argentina)			
	PC1	PC2	PC3	PC4
Autovalor (Variância)	1,9959	1,0514	0,9099	0,0428
Variância (%)	0,499	0,263	0,227	0,011
Variância Acumulada (%)	0,499	0,762	0,989	1

Tabela 9-Escores das variáveis de estudo em relação ao primeiro e segundo Componente Principal, Cidade de Campinas e Mendoza, respectivamente.

Variável	PC1		PC2	
	CAMP	MEND	CAMP	MEND
TEMP	-0,416	-0,194	-0,223	0,59
VEG	0,643	0,694	-0,093	0,089
MEAN_ALB	0,027	0,014	0,966	-0,797
FVC	-0,643	-0,693	0,093	-0,091

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da avaliação individualizada dos cenários, em ambas as cidades, verificou-se que as variáveis controláveis porcentagem de vegetação e nível de albedo acarretaram um impacto direto na temperatura do ar nos cânions urbanos. No entanto, variáveis incontroláveis - radiação solar, umidade, velocidade do vento, nebulosidade, etc. - determinam o grau de intensidade do efeito de cada estratégia, mesmo quando a morfologia urbana e os materiais são os mesmos nas duas cidades estudadas. A estratégia de aumentar a porcentagem de vegetação nos cânions urbanos diminui a temperatura do ar em todos os cenários. As análises demonstraram que a vegetação sempre melhora as temperaturas do ar: máxima, média e mínima. Com relação ao nível do albedo das superfícies opacas verificou-se que o aumento do nível em todas as superfícies opacas reduz a temperatura do ar em aproximadamente 1°C e 1,5 °C em Campinas e Mendoza, respectivamente. Já ao avaliar os cenários de albedo combinado (alto albedo em superfícies horizontais e baixo albedo em verticais) reduz em até 1,8 °C e 2 °C em Campinas e Mendoza, respectivamente. Verificou-se que os resultados da simulação são coerentes com o que é indicado na Análise Multivariada de Componentes Principais. Ou seja, a porcentagem de vegetação e o albedo médio das superfícies urbanas opacas explicaram 75 % do comportamento da temperatura do ar no cânion urbano, considerando a análise conjunta das duas cidades. Ambos as variáveis, porcentagem de vegetação e albedo, estão inversamente relacionadas com a temperatura do ar, ou seja, o incremento em um fator acarreta a diminuição no outro, e vice-versa. Os resultados mostram possibilidades concretas para a redução do consumo de energia em ambas as cidades, bem como, promove a melhoria das condições térmicas urbanas. Em trabalhos futuros serão avaliados os impactos destas variáveis em áreas de alta densidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCHAPAR, N.; PEZZUTO, C. C., CORREA E. LABAKI, L. L. "Impact of cooling strategies on urban temperatures in warm climates cities. The case of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina". **Theoretical and Applied Climatology**, 1, 1-16, 2016.
- ARNFIELD, A. An approach to the estimation of the surface radiative properties and radiation budgets of cities. **Physical Geography**, 3(2), 97-122, 1982.
- BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, 13,373-384, 1998.
- GIVONI, B. *Passive and Low Energy Cooling of Building*. New York: John Wiley & Sons, (Chapter 7), 1994.
- JOLLIFFE, I. Discarding variables in a principal component analysis; I Artificial data, **Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)**, 21 (2), 160-173, 1972.
- JOLLIFFE, I. Discarding variables in a principal component analysis; II Real data, **Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics)**, 22 (1), 21-31, 1973.
- KOLOKOTRONI, M.; GIRIDHARAN, K. Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during Summer. **Solar Energy**, 82 (11), 986-998, 2008.
- MIRZAEI, P.; HAGHIGHAT, F. Approaches to study Urban Heat Island - Abilities and limitations. **Building and Environment**, 45(10), 2192-2201, 2010
- OKE T. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, 108 (445), 1-24, 1982.
- RENCHER, A. *Methods of Multivariate Analysis*, (2nd ed.), Canada: John Wiley & Sons, 2002.
- RIZWAN, A.; DENNIS, Y.; LIU C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, 20 (1), 120-128, 2008.

- SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, 85 (12), 3085-3102, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.023>.
- WILKS, D. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, (2 thed.), California: Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford, Academic Press, 627, 2006.