

A RELAÇÃO ENTRE A REDUÇÃO DA ENERGIA CINÉTICA DOS VENTOS E O AQUECIMENTO DA TERRA

Data de aceite: 01/03/2024

Carlos Henrique Silva Dias

Engenheiro Civil

<https://www.linkedin.com/in/carlos-henrique-silvadias-a6b622249/>

Fernanda Christina Teotônio Dias Troysi

Doutora em Engenharia Mecânica PUC
MG

<https://lattes.cnpq.br/0775840085703413>

Anna Leticia Teotônio Dias

Graduação em Farmácia UFMG

<https://www.linkedin.com/in/leticiateotonio>

RESUMO: Este trabalho explora eventos cruciais desde a Revolução Industrial, que desempenharam um papel fundamental na redução da energia cinética dos ventos e sua correlação com o aquecimento global. Enquanto os fatores que contribuem para o aumento das temperaturas são amplamente discutidos, a atenção aos elementos que colaboram diretamente para o resfriamento do planeta é notavelmente escassa. A circulação atmosférica, essencial nesse contexto, está sendo cada vez mais impactada.

Na atmosfera, a coesão do ar, atuando como um corpo unificado devido à ausência de

vácuo, destaca a importância de obstáculos na circulação livre do ar, influenciando significativamente o movimento das massas de ar.

O transporte de calor da superfície para camadas superiores da troposfera pelo ar úmido é crucial para a redução da temperatura terrestre. O resfriamento primário ocorre nos ventos alísios, onde o ar úmido ascendente, ao atingir grandes altitudes, irradia calor para o espaço, contribuindo para a redução da temperatura em áreas tropicais.

A presença vital dos ventos na circulação atmosférica é comprometida pelo aumento da rugosidade da Terra devido à urbanização, resultando em turbulência que reduz a energia cinética dos ventos.

A Revolução Industrial e o crescimento populacional acelerado desde 1800 impulsionaram a concentração urbana, resultando em uma expansão vertical das cidades. Atualmente, 5% da superfície do planeta é ocupada por centros urbanos, e se prevê que 61% da população mundial viverá em áreas urbanas até 2025, contribuindo para o aumento desta estatística.

A escassez de medidas que contribuam para a redução da interferência dos edifícios nos padrões de circulação do vento nas grandes cidades é alarmante, fazendo-se

necessária a condução de estudos e definição de diretrizes para orientar construções de maneira sustentável, promovendo abordagens mais equilibradas para o desenvolvimento urbano.

A expansão urbana pode ser positivamente explorada com um planejamento eficiente na construção de novos edifícios, contribuindo para mitigar a turbulência dos ventos causada pela rugosidade superficial, resultando em uma maior transferência de calor da superfície terrestre para o espaço.

PALAVRAS-CHAVE: Circulação atmosférica; resfriamento do planeta; expansão vertical das cidades; rugosidade da superfície terrestre; desenvolvimento urbano

CONTEXTUALIZAÇÃO E DISCUSSÃO

O ar exibe uma baixa condutividade térmica, sendo de 0,0026 w/mK, conforme indicado por Nick Connor, 2020. Entretanto, quando tal elemento encontra-se em movimento, torna-se um agente altamente influente na rápida modificação da temperatura de toda uma região ou até mesmo de um país como todo. Fenômenos meteorológicos, como as frentes frias, exemplificam este impacto, resultando em diminuições substanciais de até 15°C em questão de horas sobre uma extensa área geográfica.

Os ventos Alísios, provenientes da região dos trópicos (AYOADE 2003) vão sendo aquecidos na sua trajetória em direção à região do equador meteorológico, lá recebem ainda mais calor e umidade, pela baixa pressão e alta temperatura seguem em direção às camadas mais altas da troposfera.

O vento úmido exerce papel essencial na redução da temperatura terrestre, decorrente de sua capacidade de transportar o calor da superfície do planeta até às camadas superiores da troposfera. Neste processo, o calor é então irradiado para o espaço, contribuindo significativamente para o mecanismo de resfriamento global.

O gradiente vertical térmico nesse processo é de aproximadamente -6,5°C a cada 1000 metros de altitude, podendo atingir temperaturas abaixo de -60°C, de acordo com a *U.S. Navy Weather Research Facility*. Esse ar já seco e gelado, ao iniciar o movimento de descida na direção dos trópicos (célula de Hadley), contribui para a redução da temperatura nessas áreas, ilustrado na Figura 1.

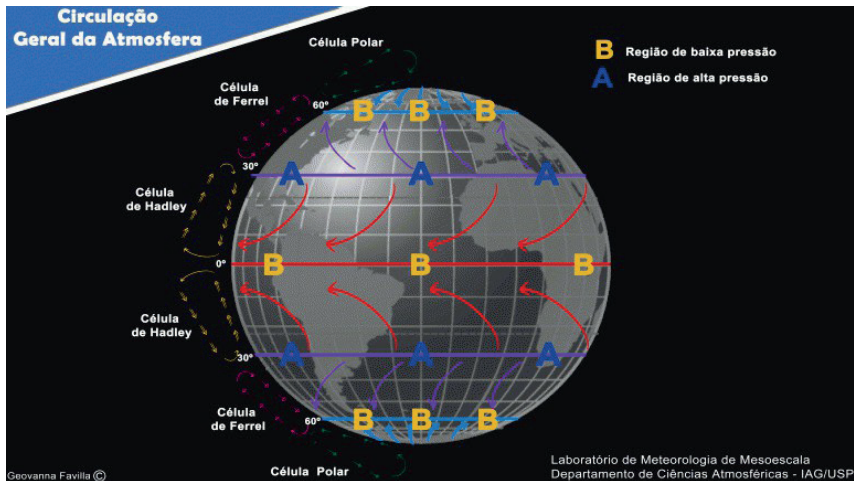


Figura 1.

Na atmosfera, tendo-se em vista a ausência de vácuo, a redução da energia cinética dos ventos interfere na circulação do ar em sua totalidade. Nos séculos passados, como no século XIII o planeta Terra se distinguia pelo predomínio de uma extensa cobertura vegetal, em marcante contraste com a presente realidade constatada nas áreas urbanas, conforme apresentado na Tabela 1 abaixo.

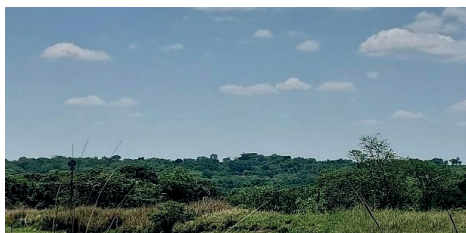
Descrição do terreno	Zo (mm)
Terreno muito liso, gelo, lama	0,01
Mar aberto em condição de calmaria	0,20
Mar agitado	0,50
Neve	3,00
Gramado	8,00
Pasto rugoso	10,00
Campo de pouso	30,00
Plantações	50,00
Poucas árvores	100,00
Muitas árvores, poucas construções	250,00
Florestas altas	500,00
Subúrbio	1.500,00
Centros urbanos	3.000,00

Tabela 1. Comprimento de rugosidade

Fonte: Adaptado de Manwell (2002).

Na natureza intocada, observa-se uma transição gradual entre os biomas, caracterizada por um crescimento suave na altura das paisagens. Esse fenômeno contrasta com o ambiente urbano, onde edifícios altos frequentemente se erguem imediatamente próximos a estruturas mais baixas, conforme exemplificado na Figura 2 com fotos capturadas pelos autores.

A.



Cerrado próximo a Uberlândia-MG

B.



Bairro Morada da Colina, Uberlândia-MG

Um dos principais catalisadores para o aumento da rugosidade do planeta foi a Revolução Industrial. Esse período crucial, marcado pela intensificação da produção e demanda por serviços, desencadeou um significativo êxodo rural para as áreas urbanas.

Ainda, somado a este movimento migratório, têm-se o expressivo crescimento populacional que, a partir de 1800, o planeta atingiu o marco de 1 bilhão de pessoas, e, posteriormente, aumentando exponencialmente, em 1922 atinge-se 2 bilhões de pessoas, 4 bilhões em 1975 e, atualmente, em 2023, atinge-se a marca extraordinária de 8 bilhões de habitantes no mundo.

O aumento vertiginoso da população global, aliado à tendência de concentração urbana, desencadearam uma demanda exponencial por edifícios, resultando em um cenário de expansão vertical das cidades.

Conforme os dados apresentados pelo renomado arquiteto e urbanista Jorge Wilhelm, estima-se, para 2025, que 61% da população mundial habitará em áreas urbanas. Comparando-se esta projeção com o ano de 1975, este quantitativo era de apenas 37%, evidenciando-se, portanto, a marcante transição demográfica. (Boletim do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo).

No que concerne à ocupação de áreas por centros urbanos, atualmente atinge-se o número de 5% da superfície do planeta. Embora o nível de ocupação possa parecer baixo, o distanciamento do crescimento dos centros urbanos com a realização de medidas adequadas para minimizar o impacto destes grandes aglomerados na circulação dos ventos é preocupante. Um exemplo disto é que nas leis de uso e ocupação do solo das grandes cidades as quais pesquisamos, não encontramos uma menção sequer a algo que leve a uma redução da rugosidade da região urbana com relação a circulação dos ventos, os

critérios para aprovação de construções altas são em sua maioria com base na capacidade de tráfegos das vias, os afastamentos e a altura com relação a rota de aviões.

Reflete-se, portanto, a escassez de estudos e diretrizes que busquem avaliar e orientar a construção de forma a reduzir a interferência nos padrões de vento, proporcionando uma abordagem mais sustentável e equilibrada para o desenvolvimento urbano.

Constando-se irregularidade na ocupação da superfície do planeta, influenciada por diversos fatores, como o nível de desenvolvimento, além da densidade populacional de cada país ou região, a interferência na circulação dos ventos apresenta considerável variação de uma região para outra. Sendo assim, estas áreas de maior desenvolvimento urbano, em decorrência do aumento da rugosidade da superfície, tendem a sentir mais pronunciadamente os efeitos da redução do volume de ar circulante. Ou seja, o aumento na rugosidade implica na menor transferência de calor para o espaço, limitando o fenômeno de resfriamento da temperatura terrestre desta região específica.

As figuras 3 e 4 abaixo, imagens noturnas capturadas pela Nasa, corroboram na compreensão não só da irregularidade da ocupação das áreas metropolitanas, como também do aumento da rugosidade, criando-se obstáculos na circulação dos ventos.



Figura 3. Estados Unidos

Imagem noturna da superfície do planeta capturadas pela ISS divulgada pela Nasa.



Figura 4. Continente Europeu

Imagem noturna da superfície do planeta capturadas pela ISS divulgada pela Nasa.

Por fim, conforme estudos apresentados durante o evento *Planet Under Pressure*, organizado pelas Nações Unidas, estes indicam que nas próximas duas décadas, as áreas urbanas devem expandir-se em 1,5 milhão de quilômetros quadrados. Contudo, esta tendência pode ser explorada positivamente por meio do planejamento meticuloso da construção de novos edifícios, que, se orientado e executado de forma eficiente, tal processo pode contribuir na mitigação da turbulência dos ventos, ocasionada pela rugosidade superficial, e, conseqüentemente, na maior transferência de calor da superfície terrestre para o espaço.

CONCLUSÃO

O presente trabalho destaca eventos cruciais desde a Revolução Industrial que desempenharam um papel fundamental na redução da energia cinética dos ventos, correlacionando-se com o aquecimento global. Embora os fatores de aumento de temperatura sejam amplamente discutidos, a atenção aos elementos de resfriamento planetário é notavelmente escassa, com a circulação atmosférica essencial sendo cada vez mais afetada. A presença vital dos ventos na circulação atmosférica é comprometida pela rugosidade da Terra devido à urbanização, contribuindo para a redução da energia cinética dos ventos.

A região dos Trópicos emerge como particularmente sensível à redução de energia, pois as massas de ar, ao retornarem da troposfera, apresentam menor volume e temperaturas médias mais elevadas. A crescente rugosidade do planeta desde a Revolução Industrial, que impulsionou o desenvolvimento urbano, é incontestável, resultando na perda de energia cinética dos ventos e, conseqüentemente, na redução de sua velocidade, impactando no volume de ar circulante na célula de Hadley ao longo do tempo.

A falta de medidas para reduzir a interferência dos edifícios nos padrões de vento nas grandes cidades é preocupante, sendo urgente conduzir estudos e estabelecer diretrizes para orientar construções de forma sustentável, buscando abordagens mais equilibradas no desenvolvimento urbano.

Entretanto, há uma oportunidade positiva na expansão urbana: um planejamento eficiente na construção de novos edifícios pode mitigar a turbulência dos ventos causada pela rugosidade superficial, resultando em uma maior transferência de calor da terra para o espaço. Assim, a integração de abordagens sustentáveis na urbanização torna-se crucial para enfrentar os desafios emergentes, oferecendo perspectivas promissoras para um desenvolvimento urbano equilibrado e resiliente no contexto das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J.O. Introdução à climatologia para os trópicos. Bertrand Brasil, 2003. Rio de Janeiro.

Nick Connor (2019, 22 de maio), "What is Thermal Conductivity of Polyurethane Foam - Definition".

SELLERS, W.D. Physical Climatology. Chigago: The University of Chicago Press.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. Wind energy explained.

EcoDebate, 2/02/2010. Disponível em: http://bit.ly/ALVES_2010

Porto Editora – *Aumento Demográfico do Século XVIII*

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press.

Sistema Global de Observação do Clima, co-patrocinado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, sigla em inglês), Comissão Oceanográfica Intergovernamental-UNESCO, Conselho Internacional de Ciências e Programa Ambiental das Nações Unidas.

LEITE, Duarte. O mais antigo mapa do Brasil. In: DIAS, Carlos Malheiros (coord.). *História da Colonização Portuguesa do Brasil*

E. Roukema, *Brazil in the Cantino map, Imago Mundi*, volume 17 (1963)

Satterthwaite D. Coping with rapid urban growth. London: Royal Institution of Chartered Surveyors; 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Departamento de População e Indicadores Sociais.

Climatologia: noções básicas e climas do Brasil - Francisco Mendonça, Inês Moresco Danni-Oliveira - Google Livros

AMBRIZZI, T; MARQUES, R; NASCIMENTO, E. Bloqueios Atmosféricos. Tempo e Clima no Brasil. Iracema F. A. Cavalcante.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas: Detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do século XXI. Tempo e Clima no Brasil. Iracema F. A. Cavalcante [et al]

MARQUES, R. F. C. e RAO, V. B. Bloqueio atmosférico no hemisfério sul durante o período de 1980 a 1993. In: Climanálise Especial: edição INPE/CPTEC, 1996.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. 8º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Alto Caparaó/MG, 2008.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, M. A. Dinâmica atmosférica

MORIZE, H. Contribuição ao estudo do clima do Brasil. Observatório Nacional do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2ª ed. 1927.

“Movimentos da Terra” em Só Geografia. Virtuoso Tecnologia da Informação, 2007-2019.