2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ESTATÍSTICA E CONFORTO AMBIENTAL: LEVANTAMENTO DO USO EM ARTIGOS SOBRE ILUMINAÇÃO NATURAL NO ENCAC/ENTAC 2009-2019

RIBEIRO, Pedro Vitor Sousa (1); RIBEIRO, Angélica Dória (2); RODRIGUES, Juliana de Paula Valente (3); CARVALHO FILHO, Gilson (4); CABÚS, Ricardo Carvalho (5)[1]

(1) Universidade Federal de Sergipe, pedrovsribeiro@gmail.com
(2) Universidade Federal de Sergipe, ange_doria@hotmail.com
(3) Universidade Federal de Sergipe, julianapaulavalente@gmail.com
(4) Universidade Federal de Alagoas, gilson.filho@ctec.ufal.br
(5) Universidade Federal de Alagoas, r.cabus@ctec.ufal.br

RESUMO

A utilização de ferramentas de estatística na análise de dados em estudos na área de conforto ambiental, ainda é algo pouco comum, mesmo tendo sido amplamente utilizada na elaboração de métodos experimentais e softwares. O artigo tem o objetivo de levantar a ocorrência da utilização de ferramentas de estatística em publicações nacionais na área de conforto luminoso, com ênfase na iluminação natural. Foram escolhidos os artigos de dois eventos da área de conforto ambiental, o ENCAC e o ENTAC, no período entre 2009 e 2019. Para cada artigo foi definido um índice denominado de potencial do uso de estatística, baseando-se nas variações de parâmetros de simulação ou de medição, para fins de comparação. Foram analisados um total de 233 artigos. Observa-se que há a crescente presença de pesquisas que se utilizam de simulação computacional, também de forma associada à medição. O uso da estatística ainda é baixo, perto dos 22%, enquanto que mais de 80% dos trabalhos possuem potencial de uso. Conclui-se que a utilização de tais ferramentas de análises de dados ainda é muito restrita, mas com grande potencial de uso.

Palavras-chave: *Estatística. Conforto ambiental. Iluminação natural.*

ABSTRACT

The use of statistical tools in data analysis in studies in the area of environmental comfort is still somewhat unusual, even though it has been widely used in the elaboration of several experimental methods and software. The article aims to raise the occurrence of the use of statistical tools in national publications in the area of luminous comfort, with emphasis on daylighting. The articles of two events in the area of environmental comfort, the ENCAC and ENTAC, were chosen for the period between 2009 and 2019. For each article, an index called potential use of statistics was defined, based on the variations of simulation or measurement

[1] RIBEIRO, Pedro Vitor Sousa; RIBEIRO, Angélica Dória; RODRIGUES, Juliana de Paula Valente; CARVALHO FILHO, Gilson; CABÚS, Ricardo Carvalho. Estatística e conforto ambiental: Levantamento do uso em artigos sobre iluminação natural no ENCAC/ENTAC 2009-2019. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

parameters, for comparison purposes. A total of 233 articles were analyzed. It can be observed that there is a growing presence of research using computer simulation, also associated with measurement. The use of statistics is still low, close to 22%, while more than 80% of the papers have potential for use. It is concluded that the use of such data analysis tools is still very restricted, but with great potential of use.

***Keywords**: Statistics. Environmental comfort. Daylighting.*

1 INTRODUÇÃO

A avaliação de parâmetros de conforto em arquitetura comumente utiliza a análise exploratória de resultados como método de estudo, com a elaboração de tabelas e gráficos. Tais dados podem ser de dois tipos: métricos e não métricos. Para o primeiro atribui-se a valores identificados em diferentes quantidades ou graus, como distância, volume e massa; enquanto que os não métricos indicam a presença de um atributo, mas não sua quantia (HAIR *et al*., 1995). O aprofundamento do uso de ferramentas estatísticas e da lógica nas análises, independentemente do tipo de dado, é essencial para orientar a construção do comportamento do objeto e a interpretação de seus resultados (RAMOS, 2013).

O uso da probabilidade e da estatística aplicadas à avaliação do conforto de usuários não é recente. Autores como Olgyay (1963) e Givoni (1969, 1992) utilizaram um banco de dados de estudos em diversos países para compor suas cartas bioclimáticas. Na mesma década, Fanger (1970) desenvolveu a equação do conforto térmico, para previsão da sensação térmica esperada por uma pessoa "média" no interior de uma edificação. O autor determinou duas grandezas (*Predicted Percentage of Dissatisfied* – PPD e *Predicted Mean Vote* – PMV) mensuráveis e calculadas por equações que foram geradas por métodos de regressão multivariada.

Na área de iluminação natural observa-se que o uso da estatística também não é recente. Desde a elaboração dos métodos de cálculo do fator de luz do dia, passando pela modelagem de céus artificiais (CIE, 2002; PEREZ, SEALS, MICHALSKY, 1993) até o desenvolvimento de softwares de simulação em iluminação natural (CABUS, 2005). Mesmo diante de tal cenário, a utilização de tais ferramentas na análise de resultados de simulação computacional e de medição ainda é restrita.

Recentemente técnicas de estatística avançada têm sido aplicadas nos estudos ligados à arquitetura, como a estatística multivariada (AMOLE, 2009; MOTA, 2007), a lógica *Fuzzy* (MORAES, 2008) e as redes neurais (NASCIMENTO, 2016). Ferramentas simples da estatística continuam sendo aplicadas nas pesquisas em arquitetura, entretanto há uma grande lacuna quando se observa que uma fração pequena dos trabalhos utiliza técnicas avançadas.

A utilização destas ferramentas requer que o estudante e o pesquisador reconheçam sua utilidade, onde docentes e discentes possam favorecer uma visão integrada da estatística, e seu ensino, nos cursos graduação e pós-graduação (TURIK, VIALI E MORAES, 2012). Uma pesquisa desenvolvida por Santos (2015) aponta que os planos de curso de pós graduação não instrumentalizam o professor para trabalhar com os conceitos de probabilidade e estatística, tendo em vista que são pouco abordados nas grades curriculares nacionais.

Baseado na grande aplicabilidade das ferramentas de probabilidade e estatística nas pesquisas em arquitetura, especificamente na área de conforto ambiental, o presente artigo tem como objetivo levantar a ocorrência da utilização de ferramentas de estatística em publicações nacionais na área de conforto luminoso, com ênfase na iluminação natural.

2 METODOLOGIA

A primeira etapa do levantamento consistiu na definição do objeto de estudo e do recorte temporal utilizado. Para o levantamento foram escolhidos dois eventos importantes no cenário da pesquisa em conforto luminoso no Brasil, o ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e o ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Ambos ocorrem de forma bienal, sendo a primeira edição do ENCAC de 1990 e do ENTAC de 1986. Foi escolhido um recorte temporal de dez anos, compreendendo o período entre 2009 e 2019.
Posteriormente foram selecionados os artigos que versam sobre o conforto luminoso, especificamente sobre luz natural, seja de forma exclusiva ou combinada com outro tipo de estudo. Os anais do ENTAC foram obtidos na plataforma InfoHab, no período de janeiro a março de 2020, já os do ENCAC foram obtidos em mídia digital disponibilizada no evento.
Para a fase de levantamento foi elaborada uma planilha preenchida após a leitura dos artigos. A planilha consta de itens referentes à aspectos gerais do artigo, como autores e instituições vinculadas, metodologia empregada no artigo, caracterização e/ou recursos de cada instrumento metodológico utilizado e forma de apresentação dos resultados, finalizando com aqueles relativos à análise estatística de dados. No total foram preenchidos 98 campos, cuja síntese é apresentada no quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros analisados nos artigos, apresentados de forma esquemática.

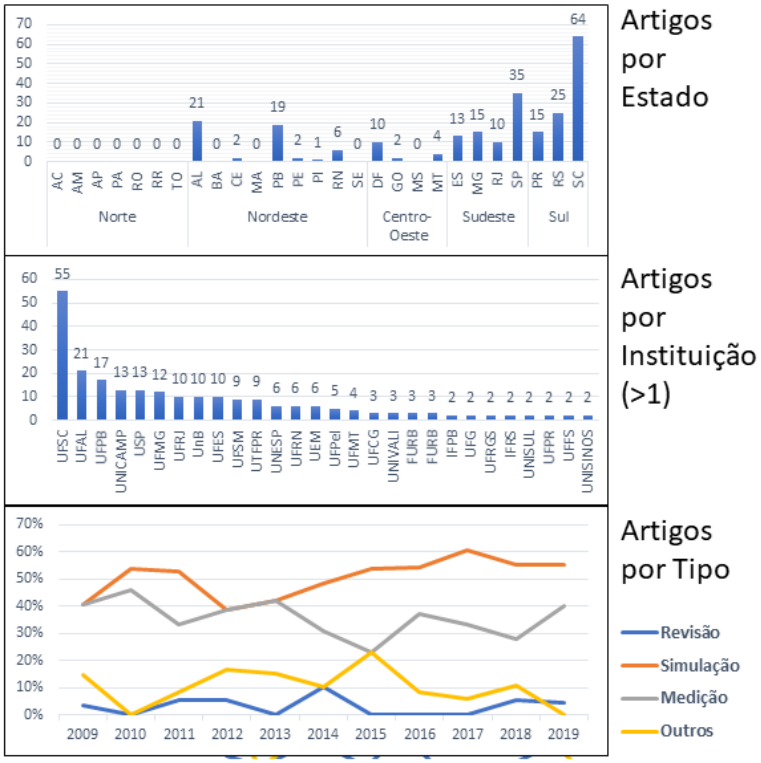
Evento					
Nome	Ano				
Autores					
Quantidade	Formação	Estado	Instituição		
Tipo de Artigo					
Revisão de Literatura	Simulação Computacional		Medição (Real/Modelo)		
Simulação Computacional					
Software	Modelo	Parâmetros e Variações	Métricas de Análises dos Resultados	Forma de Apresentação dos Resultados	Análise Estatística e Ferramentas Estatísticas
Medição (In Loco ou Modelo)					
Ferramentas de obtenção de dados		Parâmetros e Variações	Métricas de Análises dos Resultados	Forma de Apresentação dos Resultados	Análise Estatística e Ferramentas Estatísticas

As métricas de análises dos resultados verificadas no levantamento foram: Iluminância média (E), Fator de Luz do Dia (FLD), Uniformidade (U), Autonomia de Luz Natural Simples (ALN) e espacial (ALNe), Iluminância Útil de Luz Natural (IULN) e Exposição Solar Anual (ESA). Foram classificadas em Outras aquelas relativas à estudos de ofuscamento, como Luminância, *Daylight Glare Probability* (DGP) e *Daylight Glare Index* (DGI).
Os resultados foram analisados de forma exploratória, por meio de gráficos e tabelas. Foi definido um índice para cada artigo, denominado de potencial de uso da estatística, calculado a partir das respostas obtidas na coleta de dados. Caso a pesquisa possua processamento de dados anual, mais de duas variações de modelo, de parâmetro geométrico, ou de parâmetro de processamento, é admitido que ele possui potencial para uso de ferramentas de estatística na análise de dados. O índice foi calculado a fim de comparação com o uso encontrado no levantamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente são apresentados os resultados referentes às características gerais dos artigos, vistos na figura 1. Depois da fase de classificação foram separados um total de 233 artigos que abordam a iluminação natural, seja de forma exclusiva ou combinada com análises de iluminação artificial e conforto térmico. Observa-se que a maior parte das publicações se concentra no eixo sul-sudeste (73%), com algumas publicações do nordeste (21%) e centro-oeste (6%) e nenhuma da região norte. A maior parte das publicações vem de universidades federais e estaduais (72%), sendo que a que mais possui publicações no período estudado é a UFSC (20%), da região sul, seguida da UFAL (8%), da região nordeste.

Figura 1 – Resultados de artigos por estado, por instituição e por tipo.

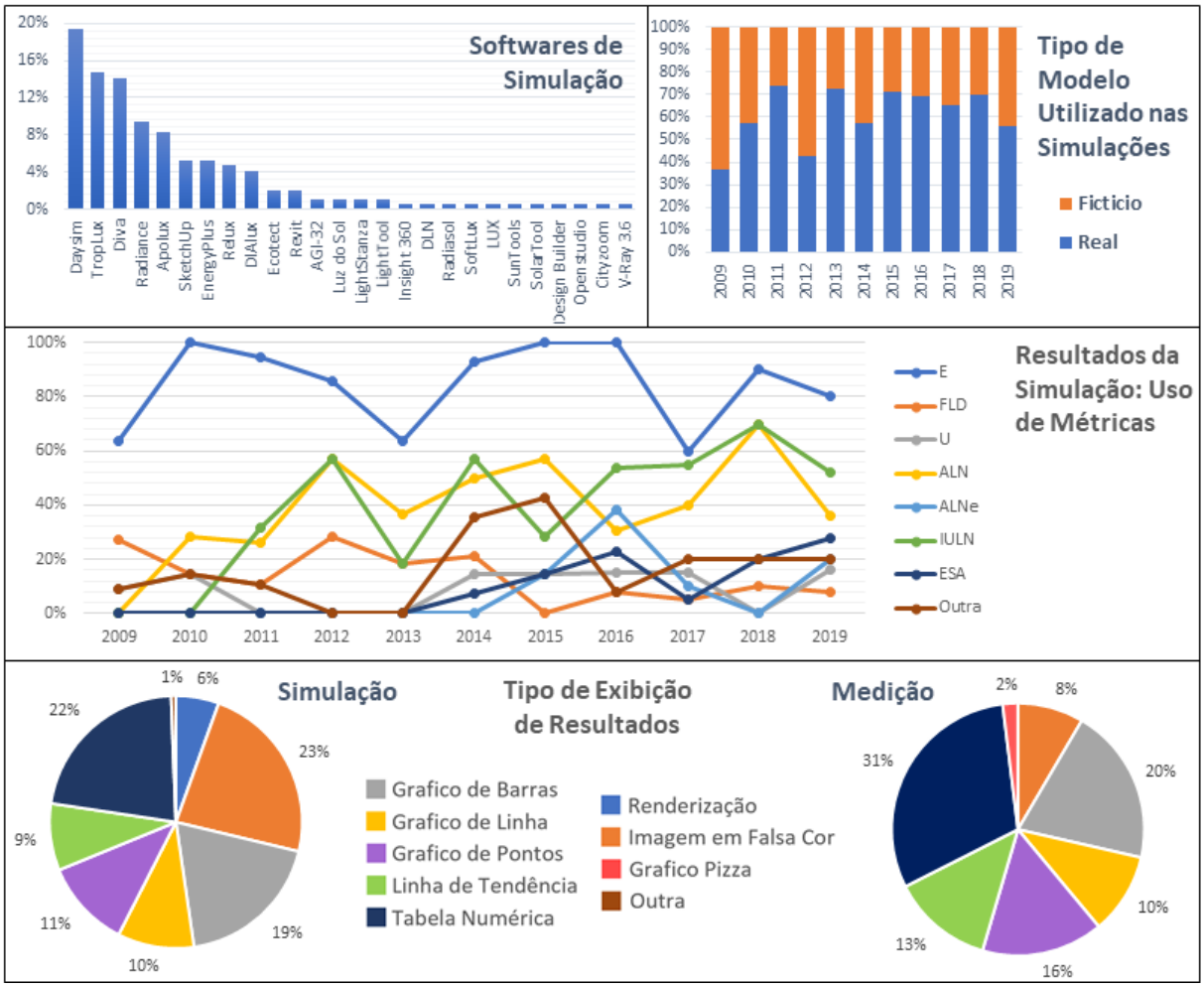


Quando analisados os tipos de artigos publicados, em 51% é abordada a Simulação computacional, 36% a medição, in loco ou em modelo, 4% a revisão de literatura e 9% classificados em outros estudos, como a utilização de métodos preditivos e de avaliações com normativos de certificação. É possível perceber também um aumento gradual no número de artigos que utilizam simulação computacional, acompanhado de uma redução nos de medição em modelos. As pesquisas que se utilizam de simulação, seja de forma única, ou de forma combinada com a medição sempre possuem maior número de publicações para o período estudado.

A figura 2 apresenta os resultados específicos para os dois principais tipos de pesquisas. Nas pesquisas que utilizam simulação computacional há grande variedade de softwares utilizados, sendo o mais utilizado em todos os trabalhos o Daysim (19%), seguido pelo TropLux (15%) e pelo plugin Diva-for-Rhino (14%). É importante destacar que entre os cinco softwares mais utilizados, dois são desenvolvidos no Brasil, o TropLux (CABUS, 2005) e o Apolux (CLARO, 1998), e que a utilização do plugin Diva-for-Rhino tem aumentado de forma significativa, principalmente nos últimos dois anos de pesquisa. Tais softwares permitem a aquisição

de grande volume de dados, o que viabiliza a utilização de ferramentas da estatística na análise dos resultados.

Figura 2 – Resultados obtidos para os artigos do tipo simulação computacional e medição, in loco ou em modelos



Para os modelos utilizados em simulação observa-se que há uma tendência de utilização de modelos computacionais baseados em parâmetros reais, ou em situações reais, e que os modelos em cenários totalmente hipotéticos têm tido cada vez menos uso. Observou-se também a adoção crescente de variáveis de entorno, como obstruções e vegetação. As simulações em que o modelo computacional tem como base um modelo real existente, ou de cenário urbano provável, é sempre maior que o outro tipo de modelo, totalmente fictício.

Quando analisados os tipos de métricas utilizadas na análise dos resultados por simulação observa-se que a iluminância é o parâmetro sempre presente, seguida da autonomia de luz natural (ALN) e da iluminância útil de luz natural (IULN). O fator de luz do dia (FLD) é uma métrica que vem caindo em desuso nas pesquisas, sendo substituída por outras métricas mais eficientes e de estudo anualizado, como é o caso da autonomia de luz natural espacial (ALNe).

Quando analisada a forma de exibição dos resultados observa-se que há grande ocorrência da utilização de imagens em falsa cor (23%) e de renderização de imagens (22%), seja do ponto de vista do observador, no caso de estudos de ofuscamento, ou de curvas de isoiluminância no plano de trabalho. Há também grande ocorrência de resultados em forma de gráficos de barras e tabelas

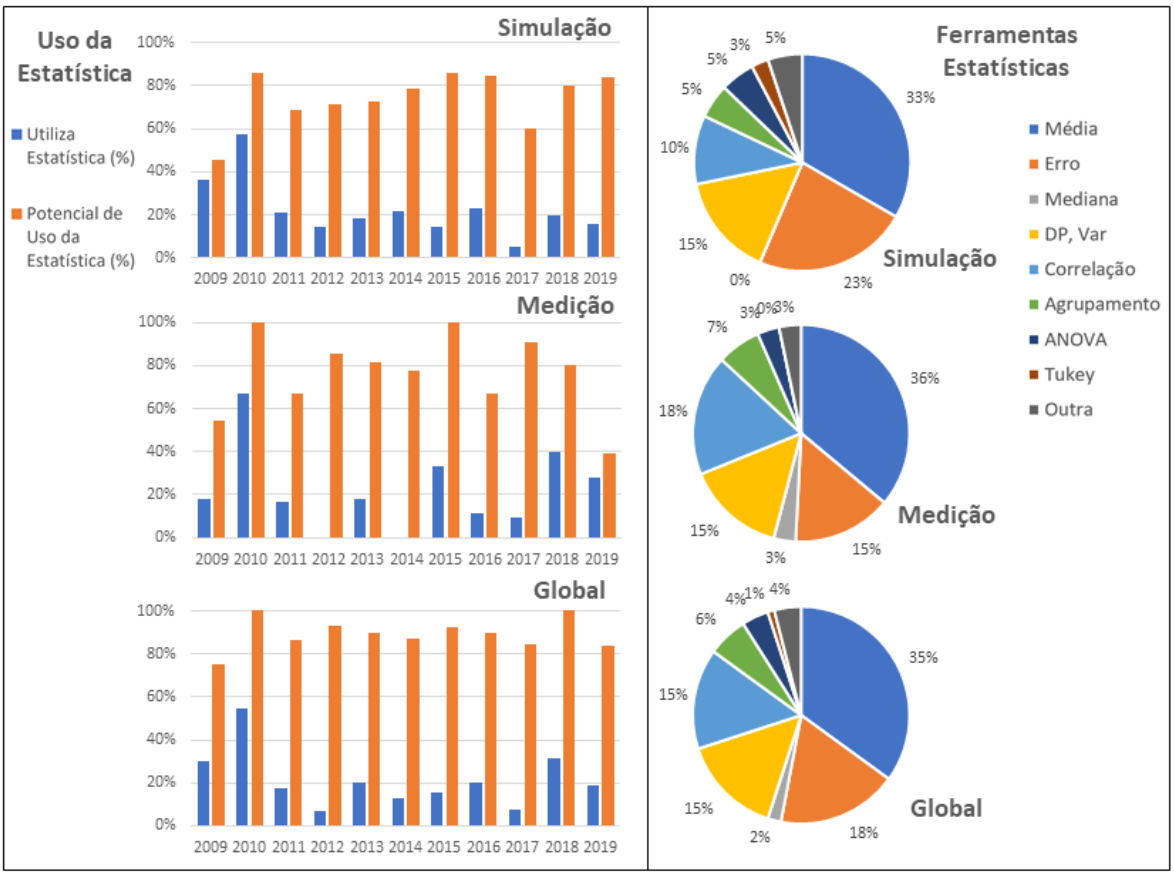
numéricas, essa última sendo cada vez menos utilizada. Observou-se a ocorrência, em alguns estudos, da utilização de gráficos de pontos com linha de tendência, entretanto todas elas de forma ilustrativa, sem utilizar nenhuma forma de regressão ou análise de correlação no gráfico.

Para os estudos de medição a quantidade de ferramentas e formas de apresentação dos resultados é bem maior que na simulação, entretanto a apresentação dos resultados apresenta as mesmas variáveis possíveis, exceto a renderização. Na maioria dos casos de medição os resultados são apresentados na forma de tabelas numéricas (31%) por vezes acompanhada de gráficos de barra ou pontos. É possível observar a maior utilização de gráficos de pontos com linha de tendência que nos resultados de pesquisas com simulação computacional.

Como objetivo do levantamento, a última etapa foi a verificação do uso das ferramentas de estatística na pesquisa em iluminação natural, cujos resultados são apresentados na figura 3. Foi possível verificar que, em média, 22% dos trabalhos utilizam ferramentas de estatística na apresentação e análise dos resultados. Mesmo sendo um percentual baixo, observa-se que a maior parte das ocorrências são no cálculo de médias, desvio padrão, variância e erro percentual, somando 70% das ocorrências. O restante utiliza ferramentas avançadas como as análises de correlação, agrupamento e ANOVA, com ou sem os testes de hipóteses associados.

É importante destacar que a utilização de ferramentas avançadas de estatística é mais presente nos estudos do tipo medição do que nos de simulação computacional. Tendo em vista que o volume de dados que a simulação computacional permite obter é significativamente maior que os de medição, o uso das ferramentas estatísticas de análises deveria ser maior em tais casos, o que não foi observado.

Figura 3 – Uso e potencial de uso da estatística nas pesquisas de simulação computacional e medição.



Quando analisado o potencial do uso de estatística na pesquisa observa-se que seu valor é sempre alto, próximo à 80%. A utilização de novas métricas de avaliação do desempenho da luz natural, bem como a maior quantidade de processamento anualizados, tem como consequência um maior volume de dados, fazendo com que o potencial seja cada vez maior. Mesmo com a facilidade de uso das métricas anualizadas, ainda é possível encontrar estudos que se limitam a verificar a disponibilidade de luz natural em solstícios e equinócios, o que tem sido cada vez menos observado. Mesmo diante do aumento no volume de dados e de simulações o uso da estatística não acompanha esse comportamento, mantendo-se sempre em torno de20%, o que indica que apenas 25% dos artigos com potencial de uso de estatística realmente a utilizam.

Para os estudos de medição in loco ou em modelo observa-se uma tendência de aumento no uso de ferramentas de estatística acompanhada da redução no potencial de uso ao longo dos anos. Esse comportamento pode ser explicado pela maior quantidade de pesquisas que fazem os dois tipos de análises, simulação e medição, e que se utilizam de índices como erro, média e desvio padrão para comparação de resultados.

4 CONCLUSÕES

Diante dos dados obtidos é possível observar que o uso da estatística nos trabalhos publicados nos anais do ENCAC e ENTAC no período de 2009 a 2019, especificamente aqueles que versam sobre iluminação natural, é pequeno. Apenas 22% dos trabalhos, em média, utilizam-na, enquanto mais de 80% deles possuem potencial para utilizá-la, tendo em vista as variações adotadas em seus estudos, entretanto, em média, apenas 25% deles a utilizam. A utilização de gráficos, principalmente de barra, de forma sintetizar os resultados, poderia ser simplificada pela adoção de ferramentas da estatística.

Não foi possível identificar a causa da pouca utilização, entretanto observou-se que as análises que empregam ferramentas visuais, como renderizações e imagens em falsa cor, são frequentes. A forma de apresentação de resultados utilizando tais ferramentas, visuais e de fácil compreensão, quando comparadas aos resultados obtidos pela estatística, que comumente são tabelas numéricas, o que talvez justifique sua pouca utilização.

A utilização de novas métricas de avaliação do desempenho da luz natural, que preveem estudos anualizados, faz com que o volume de dados fornecidos pelos softwares de simulação seja cada vez maior, entretanto esse aumento não é acompanhado do aumento no uso da estatística como ferramenta de análise dos resultados. Outra questão importante é que mesmo com uso de tais métricas anualizadas, ainda é possível encontrar pesquisas limitadas ao estudo em dias de solstícios e equinócios, pratica comum quando a capacidade de processamento dos computadores não permitia o estudo anualizado, mas que atualmente não se justifica, seja pelo desempenho dos softwares de simulação, seja pelas métricas anualizadas.

O estudo identifica grande potencial no uso de ferramentas da probabilidade e estatística nos estudos em iluminação natural para as pesquisas avaliadas, entretanto é importante que pesquisadores, docentes e discentes estejam familiarizados com seu uso e vislumbrem possibilidades de melhoria em suas análises com a aplicação de tais ferramentas.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa em Iluminação da Universidade Federal de Alagoas pela participação e colaboração na fase de levantamento de dados.

REFERÊNCIAS

AMOLE, D. Residential satisfaction in students' housing. **Journal of Environmental Psychology**, v. 29, n. 1, p.76-85, mar. 2009.

CABÚS, R. C. TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: Encontro Latino-Americano, 4., Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído, 8., 2005, Maceió, **Anais[**...] Porto Alegre: Antac, p. 240 - 249, 2005. 1 CD-ROM.

CIE - COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Spatial distribution of daylight** - CIE standard general sky. Viena: CIE. (CIE DS 011.2/E:2002). 2002.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

GIVONI, B. (1992): Comfort, climate analysis and building design guidelines, **Energy and Buildings**, v. 18 pp. 11-23.

GIVONI, B. **L'homme, L'architecture et le Climat**. Paris: Le Moniteur, 1968.

HAIR, J.F., WILLIAM C. B., BARRY J. B., ROLPH E. A., RONALD L. T. **Multivariate data analysis** (with readings). 4. ed. Prentice Hall: Ellglewood Cliffs, 1995. 475p.

MORAES, O. B. de. **Método de análise de dados para avaliação de áreas urbanas recuperadas**: Uma abordagem utilizando a lógica fuzzy. 2008. 304 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOTA, J. F. da. **Um estudo de caso para a determinação do preço de venda de imóveis urbanos via redes neurais artificiais e métodos estatísticos multivariados**. 2007. 86 f. Tese (Doutorado) - Curso de Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

NASCIMENTO, D. de S. C. **Obtenção de Zona de Conforto utilizando redes neurais artificiais**. 2016. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016

OLGYAY, V.; OLGYAY, A. **Design with climate**. Princeton University Press, Princeton. 1963.

PEREZ, R.; SEALS, R.; MICHALSKY, J. All-weather model for sky luminance distribution—Preliminary configuration and validation. **Solar Energy**, v. 50, n. 3, p.235-245, mar. 1993.

RAMOS, M. P. Métodos Quantitativos e Pesquisa em Ciências Sociais: lógica e utilidade do uso da quantificação nas explicações dos fenômenos sociais. : Lógica e Utilidade do Uso da Quantificação nas Explicações dos Fenômenos Sociais. **Mediações - Revista de Ciências Sociais**, v. 18, n. 1, p. 55, 23 set. 2013.

SANTOS, R. M. dos. **Estado da arte e história da pesquisa em educação estatística em programas brasileiros de pós-graduação**. 2015. 348 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP, 2015.

TURIK, C.; VIALI, L.; MORAES, J. F. D. de. Análise de atitudes de alunos universitários em relação à estatística por meio da teoria de resposta ao item. **Ciência & Educação (bauru)**, v. 18, n. 1, p. 231-243, 2012.