



Balço de Radiaço no Bioma Caatinga no Semiárido Alagoano

Carlos Alexandre Santos Querino¹, José Marcelo Lopes Júnior², Marcos Antonio Lima Moura³

¹Universidade Federal do Amazonas - Instituto de Educaço Agricultura e Ambiente. Rua 29 de Agosto, 786. Campus Vale do Rio Madeira, CEP 69800-000, Humaitá-AM, Brasil, Tel.:(+55 69) 99370-9000, carlosquerino@ufam.edu.br ²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Ciências do Sistema Terrestre. Av. dos Astronautas, 1758. Jardim da Granja, CEP 12227-010, São José dos Campos-SP, Brasil, Tel.:(+55 12) 99792-0550, josemarcelolopesjunior@hotmail.com ³Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Av. Lourival Melo Mota, S/Nº. Tabuleiro do Martins, CEP 57072-900, Maceió-AL, Brasil, Tel.: (+55 82) 99966-1166 malm@ccen.ufal.br (autor correspondente).

Artigo recebido em 25/05/2022e aceito em 19/09/2022

ABSTRACT

Knowing of the Net Radiation dynamic is crucial to determine the exchanges of energy that happen in the surface-atmosphere system. This research aimed to study the net radiation components dynamic pattern above a Caatinga vegetation. The study was carried out in a Caatinga vegetation area in the Mourão Farm (09°42,664' S; 37°25,008' W ; 165m) in Pão de Açúcar municipality, State of Alagoas, Northeastern of Brazil. To carry out the micrometeorological monitoring a 6.5m height tower was installed throughout period from April/2019 to October/2020, in which the incoming solar radiation (Rg), reflected solar radiation (Rr), atmospheric long wave radiation and surface long wave radiation were measured by a CNR1 of Kipp e Zonen (Delft, Holanda) net radiometer. The hourly, daily and seasonal oscillation for each component of the net radiation were evaluated. The atmosphere had shown 66.47% partly cloudy through the experimental year. The values of albedo have shown small variation of its daily monthly average values among the dry and wet season. The Rn was estimated from Rg with good accuracy regardless of the year period. The Rn was dominated by the Rg, but had presented seasonal: higher during the dry season and lower in the wet season. The seasonal variation of the short wave components (Rg, Rr, BOC) depend on the atmospheric transmissivity and less from the surface albedo, meanwhile the long waves (Ra, Rs and BOL) depend on the effective emissivity of the atmosphere and the soil temperature (Rs).

Keywords: Net radiation; Seasonality; Northeastern of Brazil.

Radiation Balance in the Caatinga Biome in the Semi-arid of Alagoas, Brazil

RESUMO

O conhecimento da dinâmica do Balço de radiaço é imprescindível para determinação das trocas de energia que ocorrem no sistema Terra-Atmosfera. Este estudo objetivou estudar a dinâmica do comportamento dos componentes do balço de radiaço numa Caatinga. Esta pesquisa foi realizada em uma área com vegetação de Caatinga na Fazenda Mourão (09°42,664' S; 37°25,008' W ; 165m) no município de Pão de Açúcar, Alagoas, Sertão Alagoano, Nordeste do Brasil. Para a realização do monitoramento micrometeorológico foi instalada uma torre de 6,5 metros de altura no período de abril/2019 a outubro/2020, no qual a irradiância solar incidente (Rg), refletida pela superfície (Rr), radiaço de onda longa incidente (Ra), onda longa emitida pela superfície (Rs) e balço de radiaço (Rn) foram medidas pelo saldo radiômetro modelo CNR1 da Kipp e Zonen (Delft, Holanda). A variação diária, horária e sazonal de cada elemento do balço de radiaço foi avaliada. A atmosfera se apresentou 66,47% parcialmente nublada anualmente. Foi detectada pouca variação nos valores médios mensais diários de albedo entre as estaço seca e chuvosa. A Rn foi estimada da Rg com muito boa acuracidade independentemente da época do ano. O saldo de radiaço foi dominado pelo Rg, mas se revelou sazonal: maior na estaço seca e menor na chuvosa. A variação estacional das componentes de ondas curtas (Rg, Rr, BOC) dependem mais da transmissividade atmosférica e pouco do albedo superficial, enquanto as de ondas longas (Ra, Rs e BOL) dependem da emissividade efetiva da atmosfera (Ra) e da temperatura do solo (Rs).

Palavras-chave: Saldo de radiaço; Sazonalidade; Nordeste do Brasil.

Introdução

O termo Caatinga é originário do tupi-guarani e significa mata branca (IBGE, 2019). O Bioma Caatinga ocupa 10,1% do território

nacional, 53,5% do nordestino e 47,3% do alagoano (IBGE, 2019). Mesmo assim, apenas 8,92% de sua área está sob proteção ambiental, dos

quais e 2,24% de áreas de proteção integral e 6,54% de áreas de uso sustentável (MMA, 2022). O clima predominante na Caatinga é o semiárido, e a sua extensa área de localização e tipo climático proporcionam uma composição vegetativa formada de múltiplas paisagens e riqueza biológica restrita a este único bioma que é exclusivamente brasileiro. Apesar de tanta riqueza a Caatinga é considerada um dos ecossistemas brasileiros mais negligenciado e ameaçado devido ao uso inadequado e insustentável de seus recursos naturais nas últimas décadas (Moro et al., 2016). Este descaso para este bioma, apesar das suas dimensões, vem alterando de forma vertiginosa suas características.

Apesar das suas dimensões este bioma vem sendo alterado de forma vertiginosa. De um modo geral a área da cobertura vegetal original da caatinga está em um grande nível de degradação. No Brasil colônia, no século XVII, teve início o processo de deterioração da Caatinga. Então, como resultado desses séculos de exploração econômica, 50% da área original da Caatinga já foi desmatada e com 13% de sua área em estado de desertificação (Antongiovanni et al., 2022). Enquanto Barbosa Neto et al. (2021) afirmaram que a desertificação do nordeste brasileiro já alcançou considerável 65%. Para Silva et al. (2019) Alagoas está entre as áreas mais desmatadas da Caatinga, com os principais focos de desmatamento do estado localizados na microrregião do sertão do São Francisco. Obviamente que as áreas degradadas podem ser significativamente ampliadas em decorrência de ações antrópicas, uma vez que as iniciativas de reflorestamento são raras na Caatinga e, conseqüentemente, a recuperação de sua vegetação em áreas desmatadas é um desafio, principalmente devido a irregularidade pluviométrica na região, além do fato dessas áreas florestais tendem a ter altos níveis de habitação humana e sujeitos a atividades humanas recorrentes que potencialmente contribuem para perdas de biomassa e biodiversidade, como o corte de madeira e arbustos para lenha, uso na construção de cercas e forragem para bovinos e caprinos (Pereira et al., 2020).

A região semiárida do Nordeste Brasileiro (NEB) tem como principal característica as chuvas anuais baixas e irregulares (Falcão et al., 2022), com uma elevada estiagem que se reflete na paisagem, pois mesmo no período chuvoso o regime de precipitação é variável (Lira et al., 2020). Recentemente Mao et al. (2022) revelaram um papel dominante do Atlântico Norte tropical para déficit de precipitação e secas no NEB.

Conseqüentemente, essa variabilidade climática interfere na composição vegetativa da Caatinga e em sua dinâmica. Cunha et al. (2013) mostraram que a substituição da vegetação natural da caatinga por agropecuária, bem como, a degradação da caatinga, podem causar modificações nos processos de superfície na região semiárida do NEB, assim como as diferenças observadas referentes às conversões certamente induzem mudanças microclimáticas que, em uma escala regional, podem ser significativas, dependendo do tamanho da área convertida.

Para Silva et al. (2022) clima, extrativismo, manejo agrícola inadequado e sobre pastoreio são os principais fatores que alteraram a vegetação nativa que compõe a floresta seca da Caatinga. Certamente os impactos decorrentes das alterações da cobertura vegetal ocorrem devido às mudanças nas características biofísicas. O entendimento de diversos processos biofísicos e a distribuição espacial dos fluxos superficiais em um sistema agrícola ou mesmo em um sistema ecológico, como a Caatinga, estão associados à quantidade de biomassa que regula o balanço de radiação no interior do dossel (Bezerra et al., 2014). As alterações sofridas na cobertura vegetal do bioma entre os períodos secos e chuvosos altera o balanço de radiação que é o principal fator de interação da superfície com a atmosfera (Santos et al., 2012).

O balanço de radiação (R_n) divide-se entre Balanço de Ondas Curtas (BOC) e Balanço de Ondas Longas (BOL). O BOC caracteriza-se por ser o total de energia de ondas curtas que fica no sistema contabilizando o que entra (Radiação Solar Global (R_g)) menos o que sai (Radiação Solar Refletida (R_r)) (Querino et al., 2017). O BOC é importante para entender processos como o de aquecimento do solo e do ar, fotossíntese, evaporação e evapotranspiração além de ser influenciado por qualquer alteração que ocorrer nos fluxos radiativos entre a superfície e a atmosfera (Cui et al., 2012). Por sua vez, o BOL contabiliza os fluxos de radiação infravermelha que chega até a superfície emitida pela atmosfera (R_a) e que é emitida da superfície (R_s) (Querino et al., 2020). O BOL depende do total de gases atmosférico, temperatura do ar e da superfície sendo assim, considerado peça fundamental para compreensão da troca de calor entre na interface superfícies-atmosfera, como por exemplos, sobre biomas específicos como a Caatinga, e em estudos de tempo e clima (Aguilar et al., 2015). Destarte, modificação na cobertura da superfície bem como alterações nos padrões atmosféricos locais

implicam em mudanças tanto no BOC quanto no BOL e, conseqüentemente, no Rn.

Assim, devido a importância do bioma Caatinga, uma vez que o mesmo está sob uma crescente degradação, além da hipótese que está degradação altera a interação dos componentes radiativos entre a superfície e a atmosfera, este trabalho objetivou entender melhor a magnitude das variações horárias, diárias e sazonais dos componentes do balanço de radiação sobre esta área.

Material e Métodos

Área de Estudo

Esta pesquisa foi realizada em uma área com vegetação de Caatinga na Fazenda Mourão (09°42,664' S; 37°25,008' W ; 165m) no município de Pão de Açúcar, Alagoas, o qual está localizado no Oeste do estado e inserida na mesorregião do Sertão Alagoano (Figura 1). O município possui extensão territorial de 693,69 km² e população de 24.307 pessoas (estimativa para 2021) (IBGE, 2022).

A Caatinga é definida por aspectos de arbustos que possuem folhas pequenas ou espinhos. Essas características são soluções encontradas pelas plantas para evitar a perda de água pela epiderme, devido à pouca quantidade de água no solo. Além disso, algumas espécies apresentam perda de folhas na estação seca e algumas espécies armazenam água. A vegetação é distribuída de forma irregular, habitando áreas contrastantes semelhantes a florestas, com manchas de solo nu e touceiras de vegetação intercaladas (Teixeira et al., 2008).

O clima no município é do tipo DA's2d, caracterizado por ser semiárido (D), Megatérmico (A') com grande deficiência de água no verão (s2) e excesso de água nulo no inverno (d), segundo a classificação de Thornthwaite-Mather. Pão de Açúcar possui precipitação média anual de 571,87 mm com período chuvoso entre maio e julho e temperatura média anual de 27,6°C. Fevereiro e agosto são os meses mais e o menos quente em Pão de Açúcar, com médias de 24,58°C e 20,21°C, respectivamente (Santos et al., 2013).

Dados

Para a realização do monitoramento micrometeorológico foi instalada uma torre de 6,5 metros de altura no período de abril/2019 a outubro/2020 com os seguintes instrumentos: saldo radiômetro (CNR 1, Kipp&Zonen), o qual é constituído de 2 piranômetros (CM3) e 2 pirgeômetros (CG3), que realizam o balanço

radiação de ondas curta e longa. Todo o processo de medição a cada 30 segundos e registro de médias a cada 10 minutos foi gerenciado por dois dataloggers (CR10X, Campbell Scientific Inc.), nos quais os sensores instrumentais foram conectados, mas as médias eram arquivadas em módulos de armazenamento. Os dados de precipitação, para o mesmo período de estudo, foram coletados na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia da cidade de Pão de Açúcar – AL (9,749167 ° S; 7,43083 ° W, 20m), a qual fica a aproximadamente 4,5 km de distância do sítio experimental.

Tratamento dos Dados

A fim de caracterizar a distribuição da nebulosidade local ao longo do ano, foi realizada uma análise de frequência de transmitância atmosférica global (Kt) diário. O Kt é um índice que determina a transmitância atmosférica de uma região através da razão entre a radiação solar que incide na superfície (Rg) e a radiação solar que incide no topo da atmosfera (Ro). A diferença esperada entre essas duas radiações é devido aos constituintes atmosféricos, em particular as nuvens, uma vez que estas são as maiores influenciadoras do Kt devido sua maior opacidade. Assim, para a determinação do Kt foi utilizada a metodologia descrita por Lopes Junior et al. (2021), mantendo-se os critérios de classificação de nebulosidade que foram: quando o $Kt < 0,4$, as condições são de céu nublado ou com alta nebulosidade (NB), $0,4 \leq Kt < 0,6$, céu parcialmente nublado ou com média nebulosidade (PN) e $Kt \geq 0,6$, as condições são de céu claro ou com pouca nebulosidade.

Foram elaborados gráficos para as devidas avaliações e análises comparativas das médias horárias e diárias com os dados micrometeorológicos medidos nessa área, assim como foi realizada análise de regressão, avaliando-se os coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), que representam exatidão máxima quando $a = 0$ e $b = 1$ e precisão máxima quando $R^2 = 1$, bem como calculada a raiz quadrada do quadrado do erro médio (RQME) (Janssen; Heuberger, 1995) para avaliar o desempenho das estimativas. Para uma melhor caracterização da uniformidade da distribuição dos resultados de Kt foi também confeccionado gráfico de boxplot.

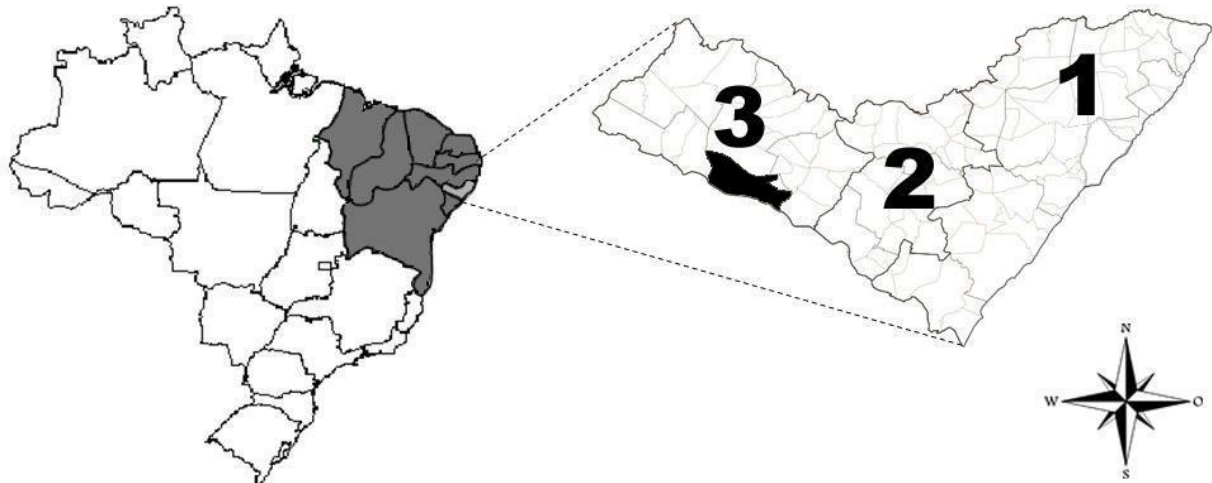


Figura 1. Localização geográfica do Nordeste Brasileiro (em cinza escuro), do estado de Alagoas com suas mesorregiões, Litoral (1), Agreste (2) e Sertão (3) e do município de Pão de Açúcar (em destaque).

Resultados e discussão

Análise Pluviométrica

Os dados considerados como representativos indicam que durante o ano de abril/19 a março/20 foi registrado uma lâmina de precipitação pluvial acumulada de 458,4mm, com 47,25% deste total ocorridos na quadra chuvosa (216,60 mm), cujo valor é muito inferior ao da normal climatológica da região de 586,70 mm anuais; já na quadra seca (outubro/19 a janeiro/20) a precipitação acumulada foi de 90,4 mm (19,72%). As taxas pluviométricas mensais variaram de acordo com o período do ano. Então, foi possível observar que, de um modo geral, os acumulados mensais de precipitações se apresentaram abaixo da média histórica, já que dos 18 meses observados somente 5 (cinco) foram acima da normal climatológica. De modo geral foi observado a ocorrência de 182 dias de chuva ao longo do experimento (representando aproximadamente 31% dos dias do experimento),

mas com somente 7,24% dos dias (42) com chuva maior que 5 mm e 3,27% com chuva superior a 10 mm.

O regime pluviométrico do Estado de Alagoas está associado às condições atmosféricas e sistemas sinóticos que atuam nos setores Norte e Leste do Nordeste do Brasil (NEB) e possui uma característica própria diferente dos demais regimes da região do NEB. Devido à sua posição geográfica espacial, Alagoas possui uma característica de transição entre os regimes pluviométricos do Norte (com máximos de fevereiro a maio) e do sul dos setores NEB (dezembro a fevereiro) (Pereira et al., 2012). De acordo com Molion e Bernardo (2002), a quadra chuvosa compreende os meses de abril a julho, sendo esse o período mais úmido, enquanto o período seco abrange os meses de outubro a janeiro.

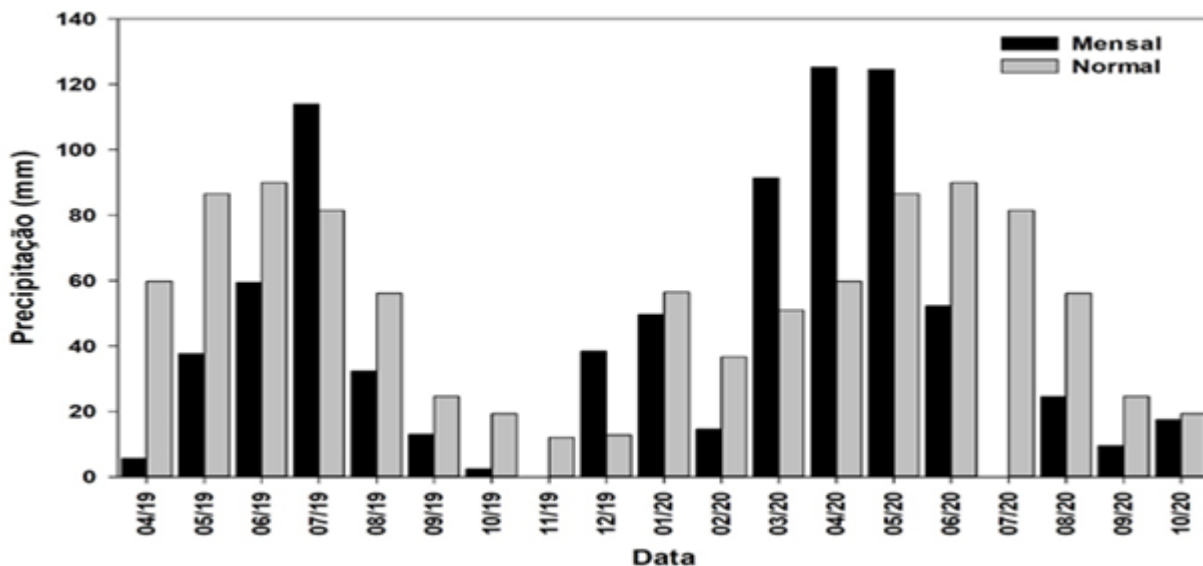


Figura 2. Distribuição dos totais pluviométricos mensais, em mm, na área experimental e normal climatológica do INMET. Não houve medição de precipitação em julho/2020.

Transmitância Atmosférica

A determinação da radiação solar incidente no topo da atmosfera (R_o) e sua relação com a radiação solar global incidente na superfície (R_g) é de extrema importância, uma vez que pode ser útil para entender a qualidade da atmosfera por meio de sua turbidez (Querino et al., 2011). Em outras palavras, a diferença existente entre a R_o e a R_g , representa a quantidade de radiação solar que é absorvida, refletida ou espalhada na atmosfera e que, por consequência, não chega à superfície. A razão entre a R_g e a R_o define a capacidade de transmissão de radiação solar que uma determinada região da atmosfera pode ter. Por sua vez, dentre os componentes da atmosfera, a cobertura de nuvens é o principal agente atuante nos processos de absorção e reflexão da radiação solar que incide sobre a atmosfera terrestre, seguido pelos gases e pelos aerossóis, que atuam também, porém com mais representatividade no processo de espalhamento da radiação solar. Sendo assim, é necessariamente importante que seja conduzida uma análise da distribuição temporal do Kt com a finalidade de identificação dos períodos do ano com maior ou menor atividade da nebulosidade.

Dessa forma, os resultados confirmam que, independentemente da época do ano existe uma predominância de Kt diário (66,47%) de dias “parcialmente nublados” (Tabela 1). Consequentemente deduz-se que houve nebulosidade na maior parte do ano (Figura 3) mesmo no período seco, uma vez que é característico do sertão alagoano a formação de “cúmulos de bom tempo” em alguns períodos do

dia. Lopes Júnior (2017) avaliando a radiação solar direta na região de Maceió – Alagoas, constatou que o período da manhã é o que possui maior ocorrência de nuvens tipo cúmulos. Esse fenômeno ocorre, devido aos efeitos da circulação local do vento, que envolve o sistema meteorológico de brisa marítima. Esse sistema cria uma zona de convergência próximo ao litoral podendo se estender a diversos quilômetros continente a dentro (frente de brisa) contribuindo para a formação das nuvens tipo cúmulos até aproximadamente as 13:00h do dia, quando ocorre a formação de uma área de supressão de cúmulos relacionada ao deslocamento das zonas de subsidência e convergência da brisa que tendem a seguir rumo ao sertão (Rotunno et al., 1992; Silva, 2003).

Nota-se ainda, ao analisar a Figura 3, que o Kt possui uma maior variabilidade mensal no período chuvoso, dado que a época chuvosa apresenta uma maior variabilidade dos dados com relação à época seca, pois o 1° e 3° quartil (50% dos dados) de cada mês são maiores, assim como suas respectivas caudas (que mostram os outros 50% dos dados). Isso ocorre porque o Kt é sensível a nebulosidade e não a precipitação, visto que a presença de nebulosidade nem sempre resulta em registros de precipitação à superfície. Carmo et al. (2017), mesmo adotando critérios de classificação de Kt diferentes, também encontraram a condição de nebulosidade diária mais ocorrente tanto para o ano quanto para os períodos sazonais de céu parcialmente nublado no semiárido pernambucano. É interessante notar a variação do Kt médio diário

ao longo do período de estudo, percebendo-se dois picos e duas depressões na Figura 3. As duas depressões, representam os momentos de maior ocorrência de nebulosidade e os dois picos, os momentos de menor ocorrência de nebulosidade. O Kt médio durante os meses com as maiores

depressões chega perto de 0,4, ou seja, apenas 60% da radiação solar que chegou ao topo da atmosfera, atingiu a superfície. Enquanto, que nos meses de ocorrência dos picos de máxima, o Kt diário atinge valores de 0,60, aproximadamente 20% a mais de radiação solar incidindo na superfície.

Tabela 1 - Ocorrência anual e sazonal de transmitância atmosférica global diária (Kt), em %, durante experimento no sertão de Alagoas.

Período	Intervalo de Kt		
	Kt < 0,4	0,4 ≤ Kt < 0,6	Kt ≥ 0,6
Chuvoso	22,40	68,87	8,71
Chuvoso/seco	15,57	74,60	9,83
Seco	2,32	51,93	45,73
Anual	14,72	66,47	18,79

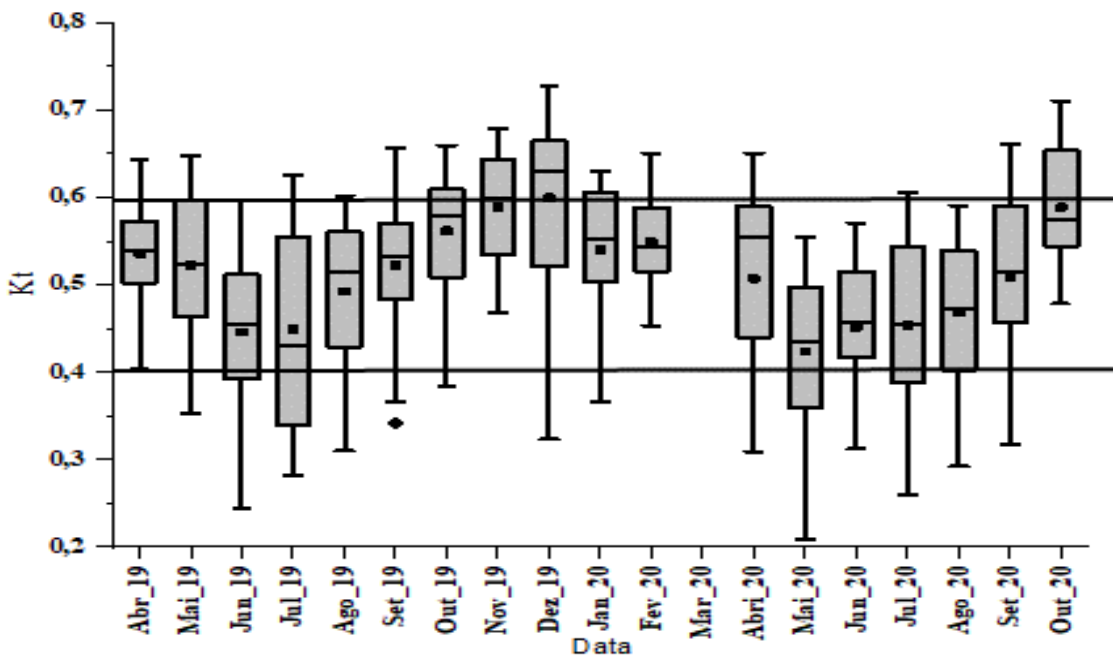


Figura 3. Boxplot da distribuição mensal da transmitância atmosférica Kt (adimensional) com linhas horizontais com os limites de classificação do Kt.

Balanco de Radiação e Suas Componentes

O comportamento dos componentes do Balanco de Radiação (Rg, Rr, Ra e Rs) deve variar de acordo com fatores astronômicos e fortemente as propriedades radiométricas da atmosfera e, principalmente, da transmissividade e emissividade atmosférica efetiva (Ferreira et al. 2012). Os máximos de radiação solar global (Rg) foram registrados em novembro (24,46 MJ m⁻² d⁻¹), justamente quando existe menos

precipitação/nebulosidade e a incidência dos raios solares é mais perpendicular, já que, em termos gerais, a latitude local é praticamente igual a declinação solar (Figura 4A). Os valores elevados de Rg no período seco (Tabela 2) são comparáveis aos encontrados numa área de Caatinga no interior pernambucano (Souza et al, 2015; Lima et al, 2017).

O valor mínimo de Rg (16,57 MJ m⁻² d⁻¹) foi observado no período chuvoso regional

possivelmente devido a associação da maior nebulosidade/precipitação (somente 8,71% foram dias claros) com fatores astronômicos que proporcionam menor número de horas de

fotoperíodo. Assim, constatou-se uma diferença de 32,25% entre as épocas seca e chuvosa.

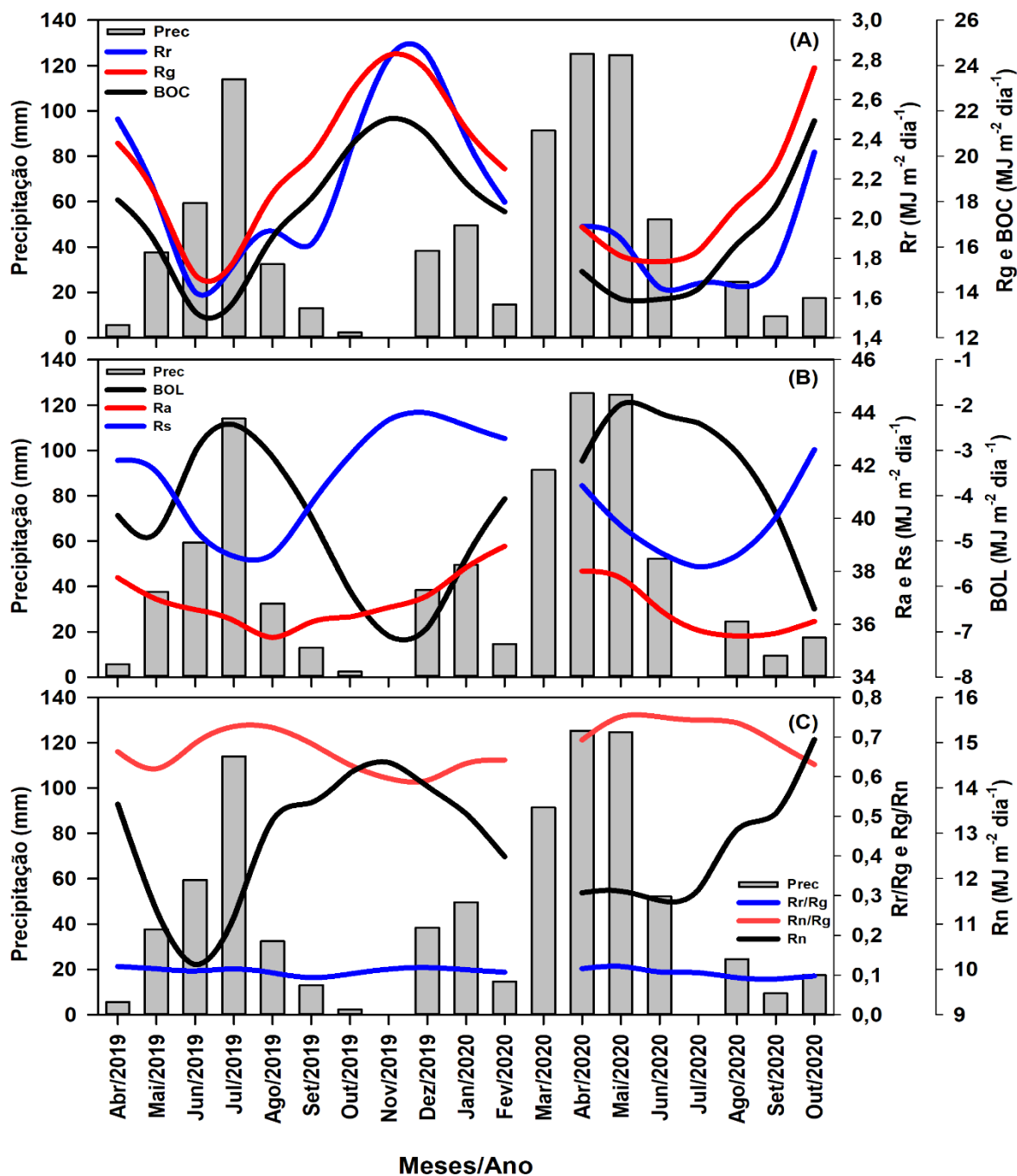


Figura 4. Comportamento médio mensal dos componentes do balanço de radiação à superfície em uma área de Caatinga durante o período experimental no Sertão de Alagoas. (A) precipitação (Prec), radiação solar refletida (Rr), radiação solar global (Rg), balanço de ondas curtas (BOC); (B) precipitação (Prec), balanço do ondas longas (BOL), radiação OL emitida pela atmosfera (Ra) e radiação OL emitida pela superfície (Rs); (C) precipitação (Prec), razão Rr/Rg, razão Rn/Rg e saldo de radiação (Rn). Rg, Rr, BOC, Ra, Rs, BOL e Rn em $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, Rr/Rg e Rn/Rg adimensionais e precipitação em mm.

A radiação solar refletida (Rr) seguiu o padrão da Rg, com maiores valores na época seca

($2,60 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e menores na chuvosa ($1,90 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Figura 4A). Durante a época chuvosa além

da persistência das folhas nas árvores (refolhagem) da Caatinga, brota na superfície uma vegetação rasteira (aproximadamente 30 cm de altura) e isso, de certa forma, modifica o Rr pelo maior aprisionamento da radiação incidente.

Quando se analisa a fração Rr/Rg (albedo) não se observa uma variabilidade sazonal, como era de se esperar, uma vez que o padrão da Rr é bem similar ao da Rg (Figura 4C). Isso ocorre porque, segundo Teixeira et al. (2008) a variabilidade do albedo numa Caatinga pode ser principalmente atribuída a variação nas condições de umidade do solo devido a precipitação e refletividade da mesma. Contudo, no caso específico da época seca as principais mudanças na refletividade podem ser devido a maior exposição da superfície por conta da diminuição do fator de cobertura do solo combinado com a coloração clara dos troncos e galhos, conforme afirmado por Pavão et al. (2015). Em todo caso, no período de transição chuvoso-seco (agosto-setembro) foram observados menores albedos (0,12), contrariando o observado por Souza et al. (2015) de que a fração Rr/Rg é reduzida devido a eventos de chuvas, ou seja, período chuvoso, mas neste experimento evidenciou-se um aumento nos meses mais chuvosos. Os valores médios diários do ano (0,14) corroboram com o de Teixeira et al. (2008) e Souza et al. (2021).

O Balanço de Ondas Curtas (BOC) (Figura 4A) foi claramente influenciado pela Rg, já que a Rr apresenta valores relativamente baixos. É importante salientar, conforme já discutido anteriormente, que houve um déficit pluviométrico mensal durante praticamente todo o experimento, o que conseqüentemente elevou a quantidade de Rg devido a menor nebulosidade e maior transmissividade atmosférica. Isso fez com que o BOC apresentasse uma diferença de 39,47% entre os períodos seco (20,46 MJ m⁻² d⁻¹) e chuvoso (14,67 MJ m⁻² d⁻¹) e média anual de 17,05 MJ m⁻² d⁻¹. Esses valores corroboram com os encontrados por Pires et al. (2017) numa Caatinga no interior de Pernambuco.

A Radiação de Ondas Longas atmosférica (Ra) e Radiação de Ondas longas da Superfície (Rs) (Figura 4B) não apresentam sincronia entre si. Em princípio, a variabilidade da Ra está associada fundamentalmente com a temperatura do ar, quantidade de vapor d'água na atmosfera e cobertura de nuvens/precipitação, enquanto a Rs à temperatura e emissividade da superfície. Desse

modo, quando se analisa a Ra assevera-se que foi maior durante o final do período seco e início do período chuvoso (38,95 MJ m⁻² d⁻¹). Isso ocorre, pois a Ra é principalmente influenciada pela radiação solar incidente sobre a superfície (Rg) e pela nebulosidade, portanto tem-se altos níveis de Rg somados ao aumento da nebulosidade que serve como obstáculo para aquela radiação proveniente da superfície, acarretando na reemissão da radiação de ondas longas pela base das nuvens, a Ra foi menor no período de transição chuvoso/seco (35,70 MJ m⁻² d⁻¹) pois, é quando os níveis de Rg são menores e a nebulosidade já não é tão fator de muita influência. Enquanto isso a Rs seguiu o padrão esperado, com menores valores na época chuvosa (40,00 MJ m⁻² d⁻¹) e maiores no seco (43,40 MJ m⁻² d⁻¹). Segundo Santos et al. (2012) a variabilidade do albedo decorrente do aumento ou redução na cobertura vegetal influencia o comportamento dessa variável, visto que alterações na cobertura do solo causam mudanças de albedo e, por consequência, na sua temperatura e emissividade. Mesmo com estas singularidades quanto a Ra e Rs, o Balanço de Ondas Longas (BOL) foi maior no período chuvoso (-3,06 MJ m⁻² d⁻¹) em relação ao seco (-6,37 MJ m⁻² d⁻¹) com uma diferença de 108,1% (Figura 4B). Isso vem a corroborar com Singh et al. (2014) onde afirmam que o BOL aumenta com a precipitação/nebulosidade justamente por conta da maior entrada de radiação de ondas longas (Ra) e menor emissão de ondas longas para o espaço (Rs). Por conseguinte, é importante salientar que no período chuvoso a atmosfera apresentou-se com 91,27% de dias na condição nublado e parcialmente nublado, ou seja, apesar de constatada precipitação abaixo do normal o céu praticamente manteve-se com nebulosidade.

A magnitude do Saldo de Radiação (Rn) (Figura 4C) variou de acordo com a sazonalidade, com maiores valores (14,09 MJ m⁻² d⁻¹) coincidindo com os períodos de maiores Rg (período seco) e os menores (11,61 MJ m⁻² d⁻¹) no período chuvoso, uma vez que existe uma relação consistente entre Rg e Rn na região semiárida (Pires et al., 2017). É importante salientar que a maior disponibilidade líquida de energia no sistema está relacionada a radiação incidente, nebulosidade, emissão de radiação de ondas longas, mudança na vegetação e disponibilidade hídrica (umidade do solo).

Tabela 2. Valores médios dos componentes do balanço de radiação: Radiação solar global (Rg), Radiação solar refletida (Rr), Razão Rr/Rg, Balanço de Ondas Curtas (BOC), Radiação OL emitida pela atmosfera (Ra) e Radiação OL emitida pela superfície (Rs), Balanço de Ondas Longas (BOL), Saldo de radiação (Rn) e Razão Rn/Rg, em diferentes períodos do ano numa área de Caatinga no sertão de Alagoas, Semiárido brasileiro. Rg, Rr, BOC, Ra, Rs, BOL e Rn em MJ m⁻² d⁻¹, enquanto Rr/Rg e Rn/Rg adimensionais.

Parâmetros	Períodos				
	Anual	Seco	Chuvoso	Chuvoso/seco	Seco/chuvoso
Rg	19,10	23,05	16,57	18,93	19,45
Rr	2,07	2,60	1,90	1,81	2,08
Rr/Rg	0,14	0,15	0,14	0,12	0,14
BOC	17,05	20,46	14,67	17,13	17,55
Ra	36,75	37,03	36,93	35,70	38,95
Rs	40,95	43,40	40,00	39,40	43,02
BOL	-4,20	-6,37	-3,06	-3,76	-4,07
Rn	12,79	14,09	11,61	13,37	12,48
Rn/Rg	0,68	0,61	0,70	0,71	0,64

Durante o período chuvoso, o Rn representou aproximadamente 70% da Rg (Figura 4C), graças ao aumento do BOL por conta do acréscimo da radiação atmosférica, associado à redução do BOC em razão, sobretudo, da diminuição do suprimento de radiação solar global. Ainda, observou-se que a razão Rn/Rg foi maior neste período também devido ao incremento do IAF quando justamente tem-se um aumento das folhagens das plantas, dado que a Caatinga é caducifólia (perdem suas folhas na época seca e voltam a florescer no período chuvoso). Na estação seca essa fração foi de 61%, pois segundo Lima et al. (2011) a razão diminuirá com o aumento do albedo e da temperatura do solo, já que ocorrerá uma secagem da superfície do solo, que será mais intensa quanto mais descoberta for a superfície, o que provoca uma redução da umidade, que por sua vez aumenta o albedo e a temperatura do solo. Contudo, Heldwein et al. (2012) afirmaram que a razão Rn/Rg é pouco afetada pela condição de umidade do solo.

Após o estudo do comportamento sazonal e mensal do Rn e de suas componentes, é importante destacar também as suas respectivas variabilidades horárias. Então, iniciando a análise da variação horária do Rn e suas componentes, pode-se observar que durante o período experimental foi constatada alta incidência de

radiação solar global com uma média de 792,69 W m⁻² no período seco alcançando mais de 900 W m⁻² entre 11 e 13 horas local, conforme era esperado devido ao fator astronômico (posição solar no hemisfério sul, o que acarreta raios solares mais perpendiculares) e também por conta da baixa nebulosidade/precipitação (Figura 6A). Padrões médios de Rg (609,96 W m⁻²) comparativamente inferiores foram observados entre os meses de maio a julho, que correspondem ao período chuvoso regional. Borges et al. (2020) encontraram Rg de 540 W m⁻² no período chuvoso e 640 W m⁻² no seco em Caatinga no estado da Paraíba.

A fração de Rg retida como BOC (Balanço de Ondas Curtas) variou entre 61 a 92% ao longo dos meses do ano. De acordo com Ferreira et al. (2020) o BOC na região de Caatinga tende a ser, por exemplo, maior do que em áreas agriculturáveis, evidenciado a diferença devido ao albedo da superfície. Um fator que chama a atenção é que este núcleo de valores médios elevados (máximos) se estende de agosto a abril (675,10 W m⁻²), ou seja, além do período seco o período de transição chuvoso-seco é englobado (Figura 6B). O BOC mostrou certa simetria visual entre os turnos matutino e vespertino. Em termos de valores o BOC se assemelha por demais com o Rg, o que mostra que a radiação refletida (Rr), conforme já citado anteriormente, corresponde a somente 14%

do R_g e contribui muito pouco para alterar este cenário.

A emissão/incidência de ondas longas apresentou valores diferentes com a variação sazonal (Figuras 6 C, D) devido a evolução das temperaturas do ar e do solo, conteúdo de vapor d'água e nebulosidade. Quando analisadas a radiação de ondas longas atmosféricas (R_a) e radiação de ondas longas superficiais (R_s) observa-se uma defasagem entre a ocorrência dos máximos médios em função das características emissivas da atmosfera e superfície. Enquanto a R_s transcorre entre outubro e janeiro ($606,94 \text{ W m}^{-2}$), acompanhando o máximo de R_g , a R_a ocorre entre janeiro e março ($495,58 \text{ W m}^{-2}$). Isso significa dizer que a temperatura da superfície, da qual depende a R_s , tem uma resposta mais imediata a incidência de radiação solar, enquanto a temperatura do ar, da qual depende a R_a , depende de certa forma da inércia térmica, ou seja, existe todo um processo demorado de transferência desse calor para a atmosfera. Isso de certa forma é corroborado por Santos et al. (2012) ao afirmarem que numa Caatinga em Petrolina-PE a maior parte da energia absorvida pela superfície é liberada na forma de calor sensível durante praticamente todo ano, enquanto Carvalho et al. (2018) afirmam que 64% do R_n é destinado ao aquecimento do ar numa Caatinga, também em Pernambuco. Já Ferreira et al. (2012) relatam que a R_a depende basicamente da emissividade efetiva atmosférica. Outro fato que chama a atenção é que, em princípio, a incidência mínima da R_a ocorre evidentemente no período noturno ($391,98 \text{ W m}^{-2}$), mas de janeiro a junho tem-se valores relativamente elevados de R_a também no período noturno. Isso possivelmente está associado também ao aumento gradativo do conteúdo de vapor d'água. Já as R_s mínimas decorrem também no período noturno ($419,45 \text{ W m}^{-2}$), mas vale salientar que especificamente no mês de julho constata-se a ocorrência de mínimo também no período diurno em função das altas precipitações e mais baixas temperaturas superficiais do período.

De certa forma o Balanço de Ondas Longas (BOL) (Figura 6E) seguiu o padrão de distribuição

da R_s , com mínimos (mais negativos) entre outubro – janeiro e entre 10 e 15 horas ($-114,37 \text{ W m}^{-2}$), enquanto os máximos (menos negativos) foram detectados à noite ($-16,38 \text{ W m}^{-2}$). Observa-se ainda que nas medições nos dois períodos chuvosos (2019 e 2020) BOL apresentou-se maior, inclusive durante o período diurno. Isso é consequência das menores diferenças entre R_a e R_s em função da diminuição da temperatura do solo e aumento do conteúdo de vapor d'água atmosférico (maior emissão de R_a), ou seja, maior contra radiação em função de uma atmosfera mais úmida.

É evidente pelas Figuras 6A, B, F que a distribuição diurna da R_g , BOC e R_n (saldo de radiação) apresentam um padrão semelhante e que a principal contribuição para R_n e BOC é a R_g . A curva do ciclo diurno de R_n (Figura 6F) é geralmente simétrica em relação ao meio dia. As observações mostram que, via de regra, os valores positivos máximos médios de R_n sucede por volta do meio dia na época seca ($637,47 \text{ W m}^{-2}$), entre 11 e 13 horas, e seu valor é diferente durante a estação chuvosa ($494,95 \text{ W m}^{-2}$). Essa diferença sazonal está relacionada ao menor albedo e menor temperatura superficial, o que proporciona redução na emissão de ondas longas, resultando em menor R_n na estação chuvosa.

Fernandes et al. (2021) encontraram R_n médio variando entre 500 e 700 W m^{-2} em área de Caatinga no Piauí; Alves et al. (2017) de 351 a 406 W m^{-2} em Pernambuco; Oliveira (2016) de 575 a 625 W m^{-2} na Paraíba e 550 e 600 W m^{-2} no Rio Grande do Norte, Silva et al. (2022) encontraram R_n em Caatinga preservada no Rio Grande do Norte variando entre 568,5 W m^{-2} e 706,2 W m^{-2} e Borges et al. (2020) variando entre 475 W m^{-2} e 564 W m^{-2} . A variação noturna de R_n é pequena em comparação com a sua variação diurna. Enquanto o R_n negativo máximo ($-75,71 \text{ W m}^{-2}$) apresenta-se imediatamente após o pôr do sol (18 horas) e diminui gradativamente com a redução usual da temperatura da superfície durante a noite, atingindo seu mínimo antes do nascer do sol independentemente da época do ano. Santos et al. (2012) encontraram R_n variando de -60 a 600 W m^{-2} em Pernambuco.

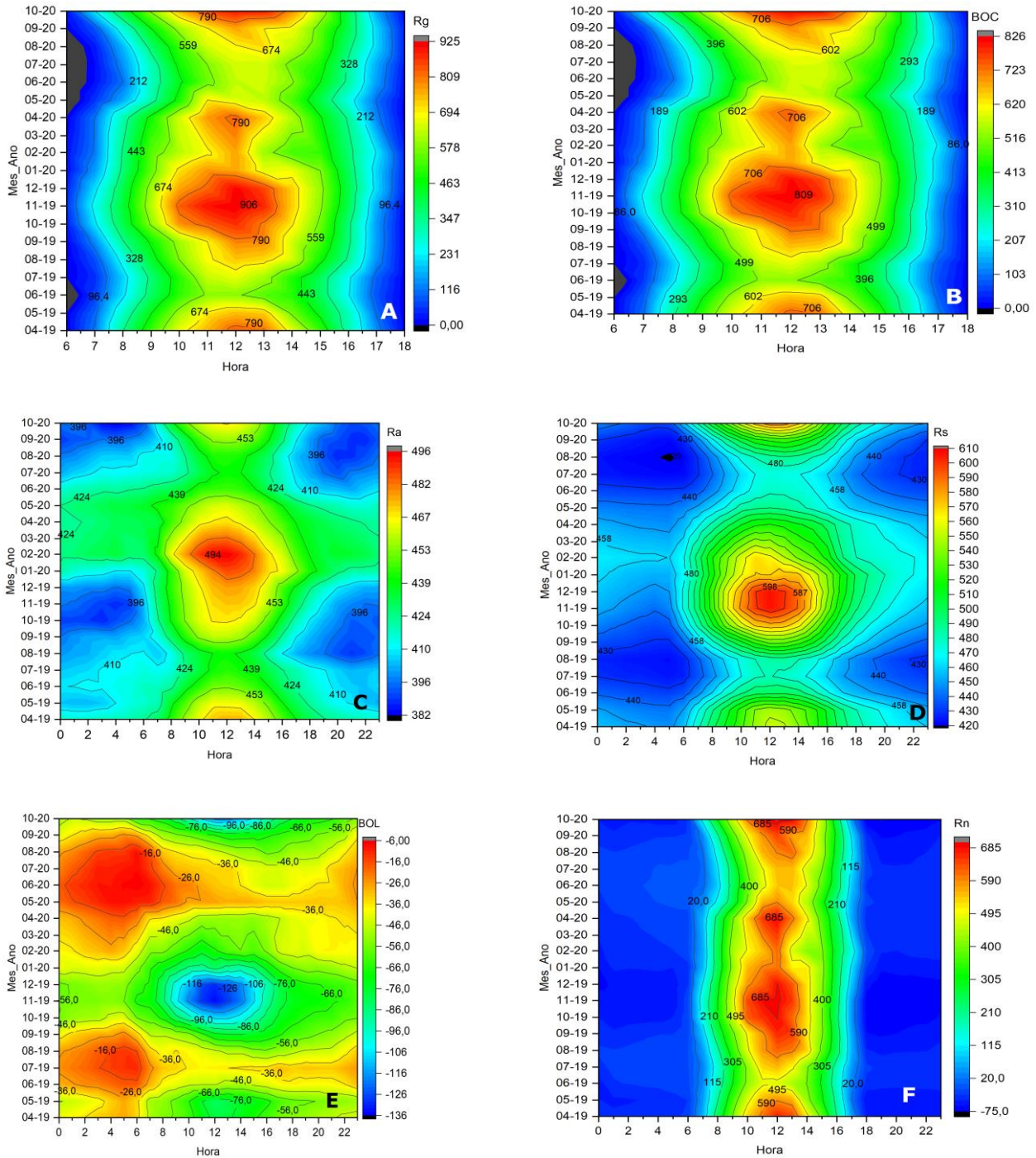


Figura 6. Comportamento médio horário mensal da (A) Radiação solar global (Rg), (B) Balanço de Ondas Curtas (BOC), (C) Radiação Ondas Longas emitida pela atmosfera (Ra), (D) Radiação Ondas Longas emitida pela superfície (Rs); (E) Balanço do Ondas Longas (BOL) e (F) Saldo de radiação (Rn), todos em $W m^{-2}$, em uma área de Caatinga durante o período experimental.

Relação entre a radiação solar global e o balanço de radiação à superfície

Como as medições do Rn nem sempre estão disponíveis, as estimativas geralmente são

feitas usando uma relação linear entre o Rn e Rg. Tais relações geralmente fornecem um método mais simples para obter o Rn em regiões desprovidas de medições micrometeorológicas. Em áreas como a Caatinga, quase não existem

medições completas do Rn, uma vez que é necessária a montagem de uma estação micrometeorológica, com a instrumentação necessária para a sua avaliação (piranômetro, piranômetro invertido, pirgeômetro e pirgeômetro invertido ou um saldo radiômetro). Além dos cuidados necessários quanto ao posicionamento, calibração e montagem de um sistema de coleta de dados é necessário que haja uma manutenção periódica desses instrumentos, afim de evitar quebra de equipamentos e perdas de dados. Em contrapartida, medições da Rg requerem bem menos equipamentos e são mais simples de se realizar, tornando-se possível a aplicação de seus dados nas estimativas do Rn.

Assim, para a presente área de estudo, foi realizada uma análise das relações entre as médias horárias de Rn e Rg para diferentes escalas temporais, a saber escala anual e sazonal, esta última separada em período chuvoso e seco, conforme mostrado na Figura 6. Observa-se que os coeficientes de determinação (R^2) dos períodos anual (0,96), chuvoso (0,97) e seco (0,96) evidenciou ajustes de caráter muito bom independentemente da época do ano. Essa relação é corroborada através da análise do erro estatístico RQME, o qual define o espalhamento dos dados de Rn em relação aos dados de Rg observa-se uma certa diferença para pior no período seco com 6,95% de erro em relação à média ($0,98 \text{ W m}^{-2}$) em comparação com o período chuvoso que teve um erro de 6,11% ($0,71 \text{ W m}^{-2}$) e por último com o período anual que teve menor erro, com 4,77% ($0,61 \text{ W m}^{-2}$). As respectivas equações lineares de estimativa do Rn tiveram coeficientes angulares e lineares próximos, somente o coeficiente angular da equação do período anual (Figura 6a) foi bem maior que os demais, sendo também responsável pela

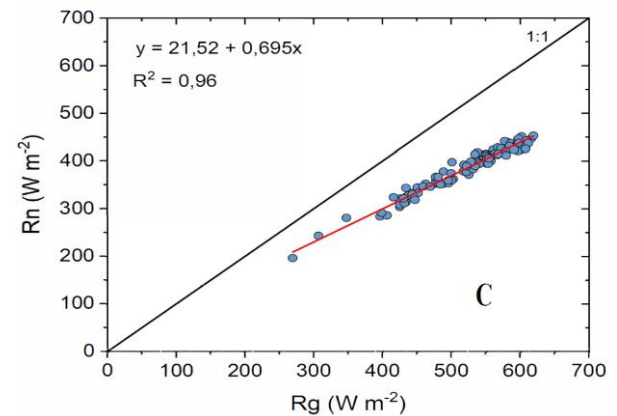
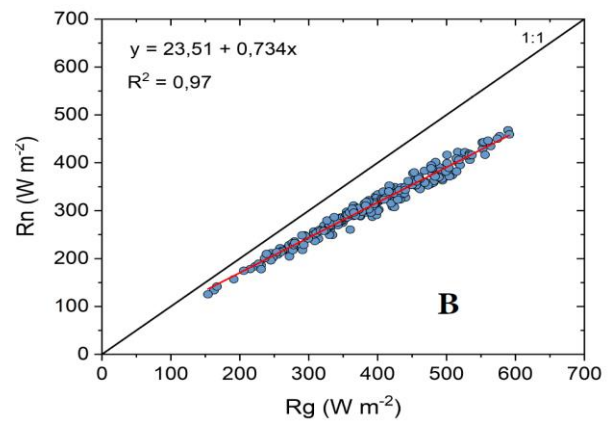
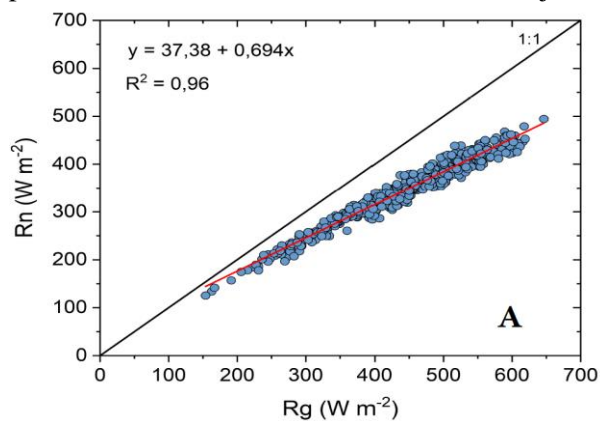


Figura 5. Relação entre saldo de radiação (Rn) e a radiação solar global (Rg) em uma Caatinga no Semiárido de Alagoas para os períodos anual (a), chuvoso (b) e seco (c).

Conclusões

As variações diárias, horárias e estacionais dos componentes do balanço de radiação na Caatinga do semiárido brasileiro foram investigadas. Isso permitiu um melhor entendimento do balanço de radiação e como a mudança no cenário quanto as precipitações afetam os processos de trocas. Então, as variações na vegetação com as estações (período seco e chuvoso), por causa da precipitação, são significativas na variabilidade dos componentes do balanço de radiação.

Os resultados da presente pesquisa são úteis para o entendimento da dinâmica do balanço de radiação em uma vegetação natural sob condições semiáridas na Brasil. Foi demonstrado que a Rn pode ser estimada da Rg com muito boa acuracidade independentemente da época do ano. Isso é relevante devido as dificuldades nos dias atuais de obter dados de radiação solar em uma extensa área como a Caatinga.

Apesar da atmosfera se apresentar 66,47% parcialmente nublada anualmente, mesmo com os acumulados mensais de precipitações abaixo da média histórica na maioria dos meses, o saldo de

radiação (Rn) foi influenciado, principalmente, pela incidência de radiação solar global.

A variação estacional das componentes de ondas curtas (Rg, Rr, BOC) dependem mais da transmissividade atmosférica e pouco do albedo superficial, enquanto as de ondas longas (Ra, Rs e BOL) dependem da emissividade efetiva da atmosfera (Ra) e da temperatura do solo (Rs).

A evolução sazonal dos valores médios mensais diários indicou variações de 39,63% para Rg, com mínimo em junho e máximo em novembro; 42,35% para Rr, com mínimo em junho e máximo em dezembro; 8,86% para Ra, com mínimo em agosto e máximo em fevereiro; 13,24% para Rs, com mínimo em julho e máximo em dezembro; e 32,95% para Rn, com mínimo em junho e máximo em outubro.

Foi detectada pouca variação nos valores médios mensais diários de albedo entre as estações seca e chuvosa. Essa pequena desigualdade entre as estações seca e chuvosa não foi suficiente o bastante para possibilitar que os valores médios de albedo na estação seca fossem menores do que na estação chuvosa.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Senhor Augusto Moura, proprietário da Fazenda Mourão, pelas licenças de pesquisa e apoio logístico durante o trabalho de campo. Agradecemos também a todos que ajudaram durante o trabalho de campo.

Referências

- Aguilar, J.L.C.; Gentle, A.R.; Smith, G.B.; Chen, D.A., 2015. Method to measure total atmospheric long-wave down-welling radiation using a low cost infrared thermometer tilted to the vertical. *Energy* 07, 233 – 244.
- Alves, L. E. R.; Gomes, H. B.; N.; Freitas, I. G. F., 2017. Balanço de radiação através do satélite Landsat-8 na bacia do Rio Pajeú. *Revista do Departamento de Geografia* 33, 117-127.
- Antongiovanni, M.; Venticinque, E. M.; Tambosi, L. R.; Matsumoto, M.; Metzger, J. P.; Fonseca, C. R., 2022. Restoration priorities for Caatinga dry forests: Landscape resilience, connectivity and biodiversity value. *Journal of Applied Ecology*, 1-12.
- Barbosa Neto, M.V.; de Araújo, M.D.S.B.; Araújo Filho, J. C.; Sampaio, E.V.D.S.B.; Almeida, B.G., 2021. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region. *Modeling Earth Systems and Environment* 7(2), 1183-1191.
- Bezerra, J.M.; Moura, G.B.A.; Silva, B.B.; Lopes, P.M.O.; Silva, E.F.F., 2014. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18, 73-84.
- Borges, C.K.; Santos, C.A.C.; Carneiro, R.G.; Silva, L.L.; Oliveira, G.; Mariano, D.; Silva, M.T.; Silva, B.B.; Bezerra, B.G.; Perez-Marin, A.M.; Medeiros, S., 2020. Seasonal variation of surface radiation and energy balances over two contrasting areas of the seasonally dry tropical forest (Caatinga) in the Brazilian semi-arid. *Environmental Monitoring Assessment* 192, 524 -542.
- Carmo, J. F. A. do; Moura, M. S. B. DE; Silva, T. G. F. DA; Souza, L. S. B. DE; Leitão, M. de M. V. B. R., 2017. Balanço de energia e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar por dois métodos micrometeorológicos. *Agrometeoros* 25, 101-111.
- Carvalho, H. D. S.; Moura, M. S. B.; Silva, T. G. F., 2018. Fluxos de radiação e energia em Caatinga preservada e cana-de-açúcar no Semiárido. *Revista Brasileira de Meteorologia* 33, 452-458.
- Cui, Y. P.; Liu, J. Y.; Hu, Y. F.; Wang, J. B.; Kuang, W. H., 2012. Modeling the radiation Balance of Different Urban Underlying Surfaces. *Chinese Science Bulletin* 57, 1046 – 1054.
- Cunha, A.P.M.A.; Alvalá, R.C.S.; Oliveira, G.S., 2013. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 139 – 152.
- Falcão, H.M.; Medeiros, C.D.B.; Fonseca, M.B.; Espírito Santo, M.M.; Santos, M.G.; Almeida, J.S., 2022. Variation in the water use and gas exchange of two Brazilian tropical dry forest phytophysiological responses in response to successional stage. *Journal of Arid Environments* 206, 104831.
- Fernandes, G. S. T.; Lopes, P.M.O.; Melo, C.G.B.; Lima, R.L.F.; Santos, A.; Silva, D.A.O., 2021. Balanço de radiação em áreas de expansão agrícola no sudoeste do Piauí. *Revista Geociências Nordeste* 7, 13-20.
- Ferreira, M.J.; Oliveira, A.P.; Soares, J.; Codato, G.; Bárbaro, E.W.; Escobedo, J.F., 2012. Radiation balance at the surface in the city of São Paulo, Brazil: Diurnal and seasonal

- variations. *Theoretical and Applied Climatology* 107, 229-246.
- Ferreira, T.R.; da Silva, B.B.; de Moura, M.S.B.; Verhoef, A.; Nóbrega, R.L.B., 2020. The use of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region. *Agricultural and Forest Meteorology* 291, 1-13.
- Heldwein, A.B.; Maldaner, I.C.; Bosco, L.C.; Trentin, G.; Grimm, E.L.; Radons, S.Z.; Lucas, D.D.P., 2012. Saldo de radiação diurno em dosséis de batata como função da radiação solar global. *Revista Ciência Agronômica* 43, 96-104.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. *Biomass and Coastal System of Brazil*. Relatório técnico. Rio de Janeiro: IBGE, pp.164.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. *Pão de Açúcar*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/pao-de-acucar/panorama>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- Janssen, P. H. M.; Heuberger, P. S. C., 1995. Calibration of process-oriented models. *Ecological Modelling* 83, 55-56.
- Lima, J.R.S.; Antonino, A.C.D.; Lira, C.A.B.O.; Souza, E.S.; Silva, I.F., 2011. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão Caupi sob condições de sequeiro. *Revista Ciência Agronômica* 42, 65-74.
- Lima, J.R.S.; Oliveira, C.L.; Barbosa, A.C.; Antonino, A.C.D.; Souza, E.S., 2017. Variação sazonal dos fluxos de energia e evapotranspiração em caatinga no agreste pernambucano. *Agrometeoros* 25, 113-120.
- Lira, E. S.; Santos, D. L. G.; Élida, M. C.; Souza, M. A.; Guimarães Júnior, S. A.M.; Costa, J. G.; Araujo, K. D., 2020. Foliar decomposition of Caatinga species in Alagoas. *RA'EGA* 8, 64-77.
- Lopes Júnior, J. M.; Moura, M. A. L.; Costa, N. B.; Ferreira Junior, R. A., 2021. Frequência e probabilidade de ocorrência de transmitância atmosférica global para a região de Maceió-Alagoas. *Brazilian Journal of Development* 7, 14685-14700.
- Mao, Y. ; Zou, Y. ; Alves, L. M. ; Macau, E. E. N.; Taschetto, A. S. ; Santoso, A. ; Kurths, J., 2022. Phase Coherence Between Surrounding Oceans Enhances Precipitation Shortages in Northeast Brazil. *Geophysical Research Letters* 49, e2021GL097647.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. <https://antigo.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs.html>. Acesso: 22 fevereiro 2022.
- Molion, L.C.B.; Bernardo, S.O., 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- Moro, M.F.; Lughadha, E.N.; Araujo, F.S.; Martins, F.R., 2016. A Phytogeographical Metaanalysis of the semiarid Caatinga domain in Brazil. *Botanical Review* 82, 91–148.
- Oliveira, V. G. de., 2016. Estimativa do balanço de radiação na região semiárida dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte utilizando o sensor Modis. 2016. 77 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande.
- Pavão, V. M.; Querino, C. A. S.; Beneditti, C. A.; Pavão, L. L.; Querino, J. K. A. S.; Machado, N. G.; Biudes, M. S., 2015. Temperatura e albedo da superfície por imagens TM landsat 5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia* 16, 169-183.
- Pereira, E.R.R.; Freitas, J.C.; Andrade, A.R.S.; Macedo, M.L.A.; Silva Neto, M.F., 2012. Variabilidade do número de dias de chuva no estado de Alagoas. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia* v.5, n.1, 7-26.
- Pereira, S.; Leal, I.R.; Tabarelli, M.; Santos, M.G., 2020. Intense mycorrhizal root colonization in a human-modified landscape of the Caatinga dry forest. *Forest Ecology and Management* 462, 117970.
- Pires, W.N.; Moura, M.S.B.; Souza, L.S.B.; Silva, T.G.F.; Carvalho, H.F.S., 2017. Fluxos de radiação, energia, CO₂ e vapor d'água em uma área de caatinga em regeneração. *Agrometeoros* 25, 143-151.
- Querino, C.A.S.; Biudes, M.S.; Machado, N.G.; Querino, J.K.A.S.; Santos Neto, L.A.; Silva, M.J.G.; Arruda, P.; Nogueira, J., 2017. Balanço de ondas curtas sobre floresta sazonalmente alagável do Pantanal Mato-Grossense. *Revista Brasileira de Climatologia* 20, 252-266.
- Querino, C.A.S.; Biudes, M.S.; Machado, N.G.; Querino, J.K.A.S.; Moura, M.A.L.; Alves, P.V., 2020. Modelling parametrization to estimate atmospheric ion wave radiation in the Northern Mato Grosso, Brazil. *Ciência e Natura* 42, e105.
- Querino, C.A.S.; Moura, M.A.L.; Querino, J.K.A.S.; Von Radow, C.; Marques Filho, A.O., 2011. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (Kt), externo e

- interno, em uma floresta de mangue em Alagoas – Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 204 – 294.
- Rotunno, R.; Curry J.A.; Fairall, C.W.; Friehe, C.A.; Lyons, I. W.A.; Overland, J. E.; Pielke, R. A.; Rogers, D.P., 1992. *Coastal Meteorology. A review of the state of the science*. Panel on Coastal Meteorology, Committee on Meteorological Analysis, Prediction, and Research, Board on Atmospheric Sciences and Climate, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, National Academy of Sciences. Washington: The National Academy Press, 1992. 112 p.
- Santos, C. M.; Souza, J. L.; Tiba, C.; Teramoto, E. T.; Melo, R. O., 2013. Estimativa da irradiação solar global horária a partir da temperatura do ar para o semiárido de Alagoas, Brasil. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 32, 19 - 28,
- Santos, S.A.; Correia, M.F.; Aragão, M.R.S.; Silva, P.K.O., 2012. Aspectos da Variabilidade Sazonal da Radiação, Fluxos de Energia e CO₂ em Área de Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5, 761-773.
- Silva, M.T.; Oliveira, V.G.; Santos, C.A.C.; Silva, L.L.; Santos, F.A.C.; Serrão, E.A.O., 2022. Net Radiation in the Semiarid Region of the States of Paraíba and Rio Grande do Norte Using the MODIS Sensor. *Anuário do Instituto de Geociências* 45, 42790.
- Silva, A.S.; Silva, F.H. S.; Santos, G.; Leite, M.J.H., 2019. Desmatamento multitemporal no bioma Caatinga no município de Delmiro Gouveia, Alagoas. *Revista Verde* 14, 654-657.
- Silva, G.R., 2003. Características de vento na região nordeste: análise, modelagem, e aplicações para projetos de centrais eólicas. 2003. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco.
- Singh, N.; Bhattacharya, B. K.; Nanda, M. K.; Soni, P.; Parihar, J. S., 2014. Radiation and energy balance dynamics over young chir pine (*Pinus roxburghii*) system in Doon of western Himalayas. *Journal of Earth System Science* 123, 1451–1465.
- Souza, A. M.; Santos e Silva, C.M.; Bezerra, B.G., 2021. Caatinga Albedo Preserved and Replaced by Pasture in Northeast Brazil. *Atmosphere* 12, 1622-1637.
- Souza, J.L.; Escobedo, J.F., 1997. Balanço de radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 32, 1-15.
- Souza, L.S.B.; Moura, M.S.B.; Sediya, G.C.; Silva, T.G.F., 2015. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física* 08, 41-55.
- Teixeira, A.H. C.; Bastiaanssen, W.G.M.; Ahmad, M.D.; Moura, M.S.B.; Bos, M.G., 2008. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology* 362, 110– 127.