

## VARIABILIDADE DO BALANÇO DE RADIAÇÃO EM ÁREA DESMATADA NO SEMIÁRIDO DE ALAGOAS

**Mattheus de Melo Queiroz**

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, AL, Brasil  
[mattheus.queiroz@icat.ufal.br](mailto:mattheus.queiroz@icat.ufal.br)

**Rosiberto Salustiano da Silva Junior**

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, AL, Brasil  
[rosiberto@icat.ufal.br](mailto:rosiberto@icat.ufal.br)

**Luan Santos de Oliveira Silva**

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, AL, Brasil  
[luan.silva@icat.ufal.br](mailto:luan.silva@icat.ufal.br)

**Carlos Alexandre Santos Querino**

Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Humaitá, AM, Brasil  
[carlosquerino@ufam.edu.br](mailto:carlosquerino@ufam.edu.br)

**Marcos Antonio Lima Moura**

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, AL, Brasil  
[malm@ccen.ufal.br](mailto:malm@ccen.ufal.br)

### RESUMO

O objetivo foi avaliar as componentes do balanço de radiação em uma área de Caatinga desmatada e não utilizada para fins agropecuário. Realizada na Fazenda Mourão (09°42,664' S; 37°25,008' W; 165m), município de Pão de Açúcar, Sertão de Alagoas, no período entre novembro/2020 a maio/2023, com monitoramento micrometeorológico das componentes do balanço de radiação. Constatou-se alta variação nos valores médios horários do albedo, cujas médias na estação seca foram menores do que na chuvosa. Com a retirada total da vegetação detectou-se um incremento médio de 91,19% na radiação solar refletida (Rr) e aumento no albedo para 0,21 (acréscimo de 50%). Apesar das oscilações de radiação de ondas longas atmosféricas (Ra) e superfície (Rs), o balanço de ondas longas (BOL) foi sempre negativo, pois depende da temperatura da superfície e nebulosidade/precipitação, uma vez que o mesmo variou de -69,0 W.m<sup>-2</sup> na estação seca para -54,06 W m<sup>-2</sup> na chuvosa. A distribuição média horária do saldo de radiação (Rn) mostra basicamente o mesmo padrão da radiação solar global (Rg), refletida (Rr) e balanço de radiação de ondas curtas (BOC). Quando se desmata a Caatinga tem-se uma diminuição de 7,02% no BOC, incremento de 37,08% no BOL e redução de 13,28% no Rn.

**Palavras-chave:** Saldo de radiação. Desmatamento. Sertão. Caatinga.

## VARIABILITY OF THE RADIATION BALANCE IN A DEFORESTED AREA IN THE SEMIARID OF ALAGOAS

### ABSTRACT

The objective was to evaluate the components of the radiation balance in an area of deforested Caatinga that was not used for any agricultural or livestock purposes. Was made in the Mourão Farm, Backcountry of Alagoas, in the timespan of November/2020 to May/2023, with micrometeorological monitoring of the radiation balance components. A large variation was found in the hourly average albedo values, whose averages in the dry season were lower than in the rainy season. With the total removal of vegetation an average increase of 91.19% of reflected solar radiation (Rr) was found and albedo grew to 0.21 (50% increment). Despite the oscillation of atmospheric (Ra) and surface (Rs) longwave Radiation, Longwave balance (BOL) was always negative, as it depends on the surface temperature and cloudiness/precipitation, since it varied from -69, 0 W m<sup>-2</sup> in the dry season to -54.06 W m<sup>-2</sup> in the rainy season. The average hourly distribution of net radiation (Rn) shows basically the same pattern as the global (Rg), reflected (Rr) solar radiation and shortwave balance (BOC). When Caatinga is deforested, there is a decrease of 7.02% in the BOC, an increase of 37.08% in the BOL and a reduction of 13.28% in the net radiation.

**Keywords:** Net radiation. Deforestation. Backcountry. Caatinga.

## INTRODUÇÃO

As florestas tropicais sazonalmente secas são identificadas como um dos principais ecossistemas do mundo. A singularidade da Caatinga a torna um bioma único no mundo, cuja diversidade é resultante de variações climáticas, topográficas e geomorfológicas. De todas as regiões da Terra, as semiáridas são as mais vulneráveis ao impacto do aumento global na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (Campos et al., 2019). Além disso, estas mudanças climáticas podem resultar na perda de mais de 90% das comunidades de mamíferos da Caatinga (Moura et al., 2023). O bioma, apesar de sua vasta extensão, ocupa 10,1% do território nacional, 53,5% do nordestino e 47,3% do alagoano (IBGE, 2019), vêm passando por rápidas transformações devido aos efeitos nocivos do desmatamento. A vegetação que antes era abundante e próspera deteriorou-se significativamente. Incentivos políticos e financeiros para o desmatamento, o desenvolvimento de infraestrutura, cidades e ocupação de terras para expandir pastagens e agricultura são os principais impulsionadores das mudanças no uso da terra, afetando a biodiversidade, os recursos hídricos, as emissões de carbono e o clima regional e local da área. Conforme Silva et al. (2019), Alagoas tem uma das regiões mais desmatadas da Caatinga, com focos predominantes de desmatamento situados na microrregião do interior do São Francisco. Atualmente Alagoas possui somente 24,38% (321.995 ha) do seu território coberto com Caatinga (Mapbiomas, 2023).

A degradação da Caatinga começou durante o período colonial brasileiro do século XVII e se estende até os dias atuais. Segundo Antongiovanni et al. (2022), devido a séculos de exploração econômica (uso do solo para extrativismo de madeira e lenha e para a pecuária) e vulnerabilidade social, impressionantes 50% da área original da Caatinga já foram desmatadas, com mais 13% da área em processo de desertificação, que é causado por processos induzidos pelo homem ou pela variabilidade climática, o qual resulta na perda da fertilidade do solo, da biodiversidade e no êxodo rural. Barbosa Neto et al. (2021) observaram que a desertificação no Nordeste do Brasil é ainda mais severa, atingindo surpreendentes 65%.

A radiação solar é um dos elementos essenciais que determinam a disposição espacial das espécies, a dinâmica florestal e a produção de biomassa. Entender o desempenho dos elementos do balanço de radiação é fundamental, tendo em vista que esses componentes influenciam diretamente na disponibilidade energética dos processos solo-planta-atmosfera (De Araújo et al., 2019).

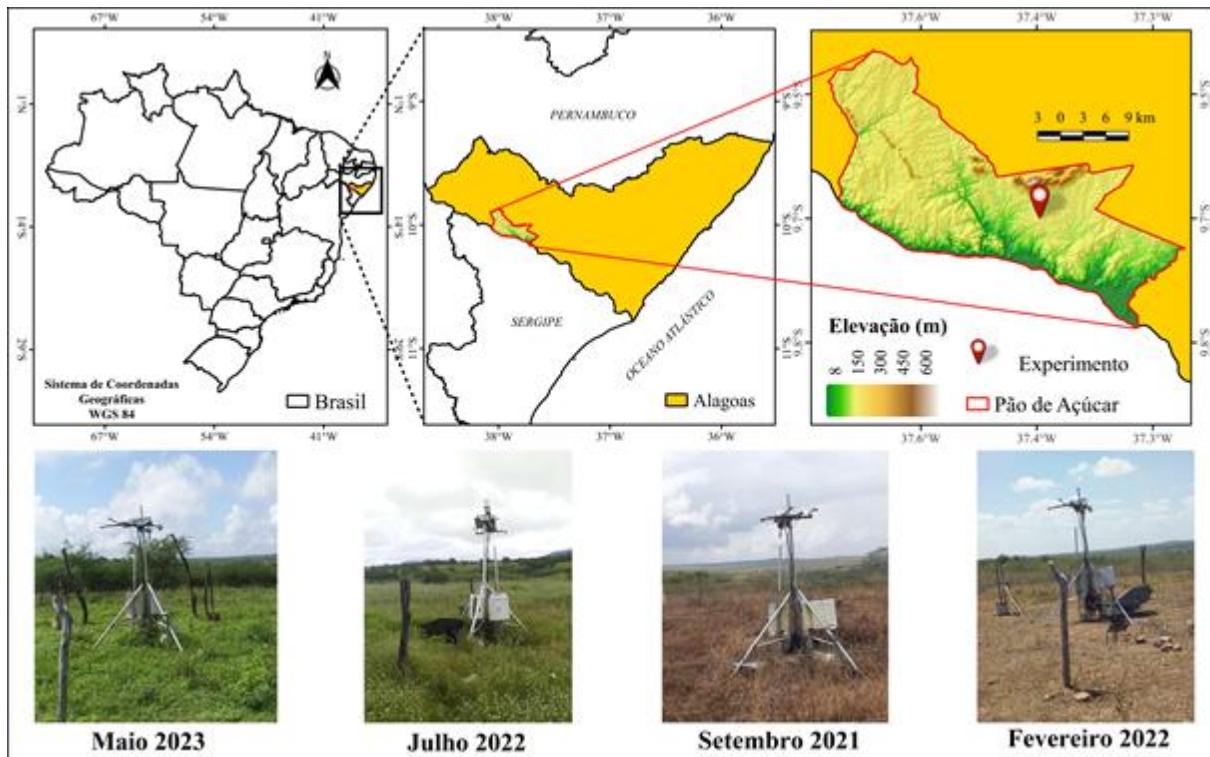
Conte et al. (2019) vincularam o desmatamento a potenciais impactos no sistema climático, causados principalmente por alterações nos componentes do balanço radiativo, o qual incluem o fluxo radiativo incidente, absorvido, emitido e refletido por uma determinada superfície na forma de comprimentos de ondas curtos e longos. Nesse sentido, as mudanças nas condições e nos padrões de comportamento dos diversos componentes do balanço de radiação superficial nas regiões semiáridas do Brasil devem ser continuamente monitoradas e atualizadas, uma vez que não há medições regulares, devido à sua biodiversidade, extensão territorial e grande população. Portanto, há necessidade e relevância para melhor compreender o papel desempenhado por este bioma.

Não há informações sobre o balanço de radiação em áreas desmatadas e não aproveitadas, mas ocupadas por plantas invasoras (popularmente denominadas de “erva daninha”) do semiárido alagoano. Na realidade, na maioria das vezes quando a floresta da Caatinga é desmatada, ela é utilizada para o cultivo de culturas de subsistência durante a estação chuvosa regional, especialmente nas áreas onde o desenvolvimento desta atividade depende inteiramente da ocorrência de chuvas. Então, de certo modo, as áreas desmatadas da Caatinga permanecem ociosas na maior parte do tempo. Inclusive, Xia (2010) anotou que também nas zonas semiáridas do norte da China, o solo nu é a principal categoria na superfície terrestre. Diante desta afirmação, o objetivo deste trabalho é analisar o balanço de radiação em uma área de Caatinga desmatada que não foi aproveitada para nenhum fim agropecuário com a hipótese que esta variável é impactada pela precipitação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Na mesorregião do Sertão Alagoano, localizada à oeste do estado, está inserido o município de Pão de Açúcar com extensão territorial de 693,69 km<sup>2</sup> e população atual de 23.721 habitantes (IBGE, 2023). Esta pesquisa foi conduzida numa área que era Caatinga e foi totalmente desmatada na Fazenda Mourão (09°42,664' S; 37°25,008' W; 165 m), cuja área não foi utilizada para nenhum fim econômico, no período de novembro/2020 a maio/2023 (Figura 1).

Figura 1 - Localização geográfica do Estado de Alagoas e município de Pão de Açúcar com mapa de elevação em destaque e fotos ilustrativas para enfatizar a cobertura do solo durante o experimento



Fonte: Os autores, 2024.

No aspecto relativo ao clima, segundo classificação de Thornthwaite-Mather, é do tipo DA's2d, o qual é caracterizado por ser semiárido (D), Megatérmico (A') com grande deficiência de água no verão (s2) e excesso de água nulo no inverno (d). Outras características importantes são a intensa radiação solar (Querino et al., 2022), baixo teor de umidade relativa do ar e predominância de ocorrência de significativas amplitudes térmicas diária e sazonal (Santos et al., 2013) e normal climatológica de precipitação de 586,70 mm anuais com período chuvoso entre maio e julho e seco entre novembro e janeiro.

Para a realização do monitoramento micrometeorológico foi utilizado um saldo radiômetro (CNR 1, Kipp&Zonen), composto de 2 piranômetros e 2 pirgeômetros, os quais medem as componentes do balanço de radiação de ondas curta (BOC) e longa (BOL), respectivamente. As medições foram realizadas a cada 30 segundos e registrada médias a cada 30 minutos, que foram gerenciadas por um datalogger (CR10X, Campbell Scientific Inc.), ao qual 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 (INMET) da cidade de Pão de Açúcar – AL (9,749167° S; 7,43083 ° W, 20m), que fica a aproximadamente 4,5 km de distância do sítio experimental.

No intuito de caracterizar a distribuição local da cobertura de nuvens e, consequentemente, a turbidez atmosférica ao longo do experimento, foi calculado o índice de transmitância atmosférica (Kt). O Kt foi determinado conforme método descrito por Lopes Júnior et al. (2021), definido pela razão entre a quantidade de radiação solar incidente na superfície (Rg) e a quantidade de radiação solar que incide no topo da atmosfera (Ro). Então, quando o valor de Kt <0,4, as condições são nubladas ou com muita nebulosidade (NB), 0,4≤Kt<0,6, parcialmente nublado ou moderadamente nublado (PN) e Kt≥0,6, as condições são ensolaradas ou claras (CL).

Após a aquisição dos dados, os mesmos foram analisados, tratados e calculadas as médias horárias e diárias e confeccionados com softwares (EXCELL e ORIGIN) adequados com as devidas relações entre diferentes parâmetros.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### ***Precipitação e Transmitância Atmosférica (Kt)***

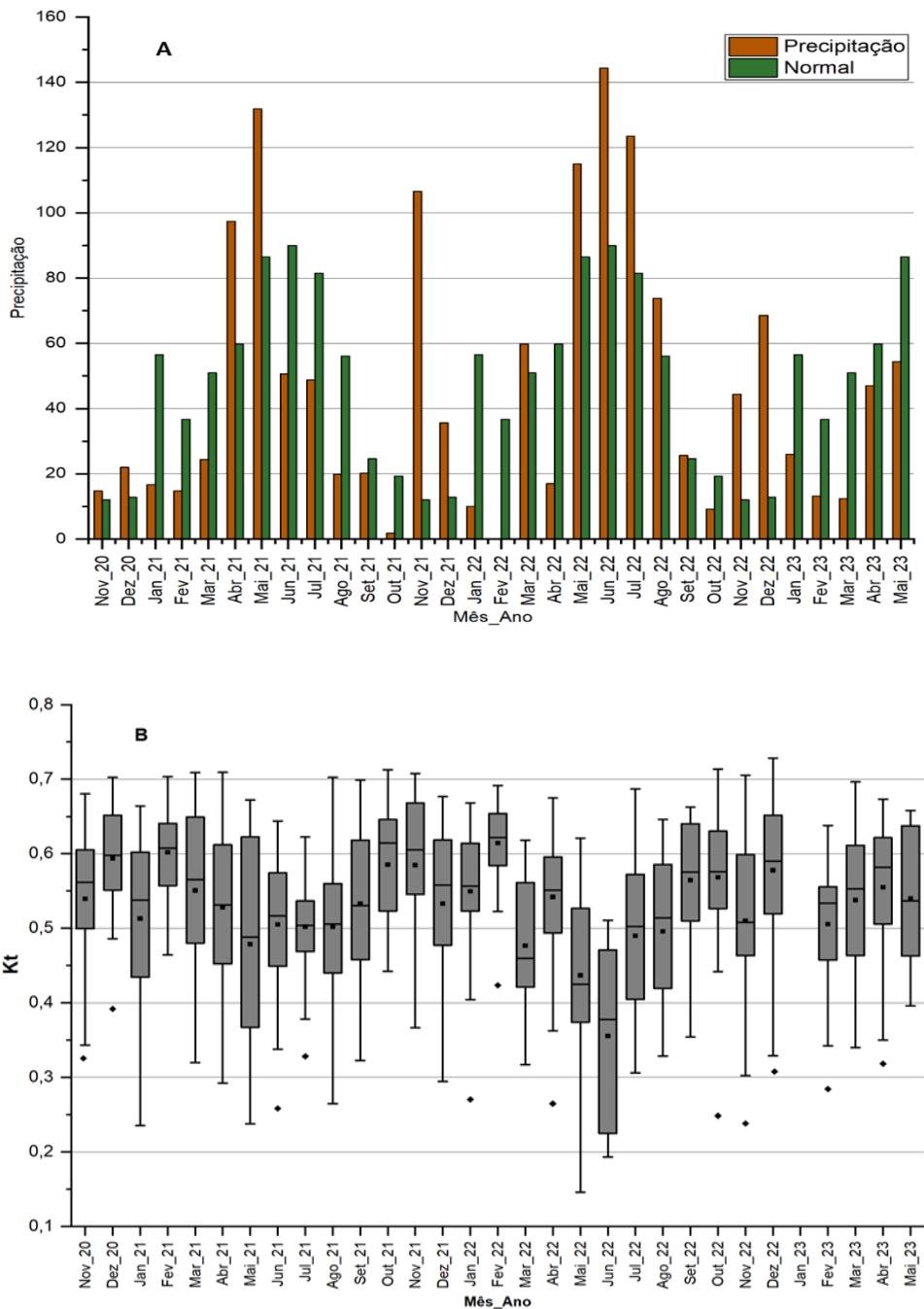
Sem a influência de nenhum sistema climatológico global, o regime de chuvas em Alagoas está associado às condições atmosféricas e aos sistemas sinóticos das regiões norte e leste do Nordeste do Brasil (NEB) e, como consequência, apresenta característica singular, porém distinta dos demais sistemas da região do NEB. Devido à sua localização geográfica, o regime de chuvas em Alagoas é uma transição entre os regimes do norte e sul do NEB (Pereira et al., 2012). Mas Lyra et al. (2014) e Lyra et al. (2017) relataram que a grande variabilidade espacial e temporal de precipitação em Alagoas é devido à orografia da região, proximidade da costa e ao efeito de vários sistemas climáticos de mesoescala e sinóticos na região, cujos sistemas são: ventos alísios, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Vórtice Ciclônico Troposférico Superior (VCTS), Distúrbios de Ondas de Leste (DLE), Linhas de Instabilidade (LI), Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), brisas terrestres e marítimas e frentes frias.

As taxas pluviométricas mensais durante o experimento foram caracterizadas por apresentar grande variabilidade temporal (Figura 2a), ou seja, distribuição irregular. Então, foi possível observar que, de um modo geral, na primeira metade do experimento os acumulados mensais foram predominantemente abaixo da normal climatológica, enquanto na segunda metade, prevaleceu acumulados acima da normal. Um fator que interfere neste comportamento é a ocorrência de precipitações isoladas extremas principalmente durante o período seco, as quais são bastante comuns na região. É interessante ressaltar que mesmo no período considerado chuvoso, tem-se a presença de longos períodos de estiagens, principalmente na mesorregião do Sertão Alagoano. De modo geral foi observado a ocorrência de 209 dias de chuva dos 912 dias de experimento (representando aproximadamente 22,91%), mas com maioria de 62,26% (130 dias) de chuva menor que 5mm, 12,44% (26 dias) de chuva entre 5 e 10mm e 25,35% (53 dias) acima de 10mm.

É interessante notar a variação do Kt ao longo do experimento (Figura 2b), onde percebe-se médias/medianas sazonalmente cíclicas, com valores maiores no período seco e menores no chuvoso. O Kt se mostrou irregular, pois não apresenta um padrão quanto a assimetria e dispersão em relação a nenhuma estação ou época do ano, o que pode estar associado a variabilidade da nebulosidade. Apesar da distribuição irregular da precipitação os dias foram classificados como 12,22% nublados, 58,35% parcialmente nublados e 29,43% claros quanto à transmitância atmosférica global (Kt). Segundo Santos et al. (2020) o Kt é sensível à nebulosidade e não à precipitação, já que a nebulosidade nem sempre resulta em registros de precipitação à superfície. Além disso, Querino et al. (2022) afirmaram que é muito comum nesta região a formação de nuvens “cúmulos de bom tempo”. Carmo et al. (2017), mesmo tomando como base 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. Isso nos sugere que ocorreu uma quantidade considerável de nebulosidade ao longo da maior parte do ano, mesmo durante o período seco, quando, na realidade, esperava-se o oposto devido às características pluviométricas da região.

Observa-se ainda na Figura 2b também a presença de outliers, os quais se encarregam de influenciar nos totais mensais altamente incomuns que reforçam a variabilidade, que é característica das chuvas mensais, só que todos outliers, sem exceção, são relativos a valores extremos muito baixos. Isso, de certa forma, impacta nas médias, já que as médias sofrem influência dos valores extremos, apesar da mediana ser mais representativa do que a média aritmética, mas em somente cinco casos a média foi superior a mediana. Este resultado tão heterogêneo do Kt reforça as dificuldades inerentes ao domínio do problema na adequada identificação dos padrões existentes.

Figura 2 - Variabilidade do acumulado mensal de precipitação no experimento e Normal Climatológica da Precipitação do INMET (Inmet), ambos em mm (a) e Boxplot da distribuição mensal da transmitância atmosférica Kt (adimensional) (b)



Fonte: Os autores, 2024.

#### ***Radiação Solar Global (Rg), Radiação Solar refletida (Rr), Albedo e Balanço de Ondas Curtas (BOC)***

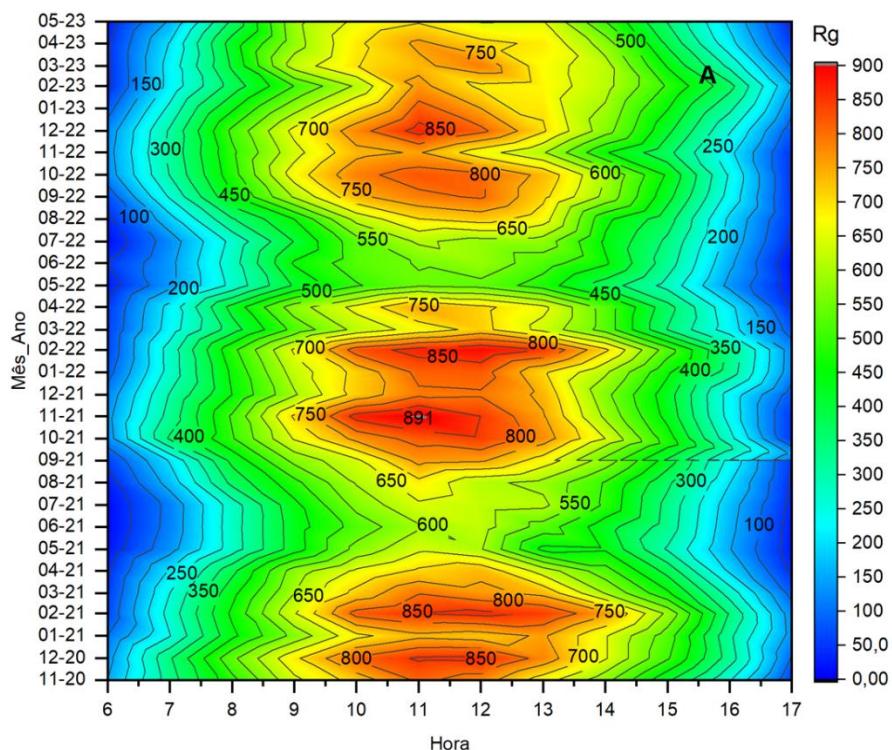
A remoção total ou parcial da vegetação ocasiona uma exposição do ambiente aos efeitos da radiação solar e resulta na redução da biomassa florestal e na alteração do balanço de radiação. Segundo Lopes Júnior et al. (2023) a radiação solar incidente (Rg) é dependente de fatores como declinação solar, latitude, ângulo zenital, transmitância atmosférica, etc. Já Chen et al. (2016) e Souza et al. (2015) afirmaram que essa variável é influenciada sobretudo pela localização e presença de nuvens.

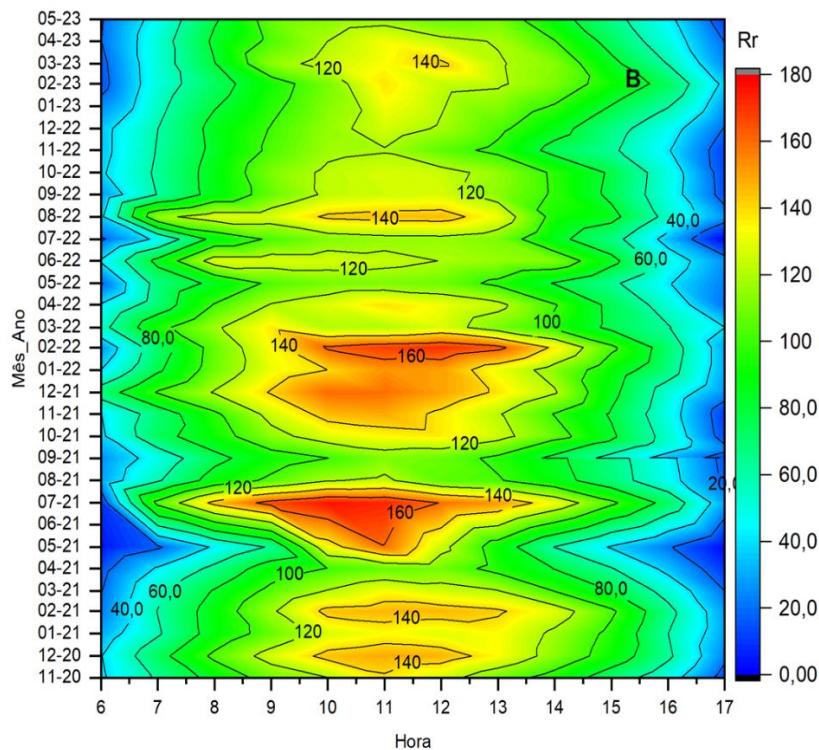
A sazonalidade na radiação solar é comum e ocorre nesta região. É importante salientar que a distribuição de Rg é muito estável com as condições vigentes, com máximo ao meio-dia e mínimos ao nascer e pôr do sol, mostrando uma certa simetria diurna (Figura 3a). Ao mesmo tempo percebe-se que a Rg também foi marcada pela ocorrência de valores médios ( $483,94 \text{ W m}^{-2}$ ) nos períodos secos por causa dos fatores acima citados e pelo fato de somente 11,40% da transmitância atmosférica se apresentar nublado e, consequentemente, proporcionar menor nebulosidade/precipitação. Querino et al. (2022) encontraram valores semelhantes para mesma região de estudo, enquanto Souza et al. (2015) e Lima et al. (2017) também observaram Rg análogos em uma área de Caatinga no interior de Pernambuco.

Com o advento do período chuvoso nota-se uma redução da Rg devido a maior nebulosidade/precipitação e menor porcentagem de céu claro (somente 13% dos dias). Então, foi constatada média de  $337,74 \text{ W m}^{-2}$ . Já a média anual foi de  $450,35 \text{ W m}^{-2}$ . Portanto, diante dos diversos mecanismos para atenuar a Rg, foi possível identificar uma diferença de 30,2%, entre os períodos seco e chuvoso.

Em princípio, a radiação solar refletida (Rr) tende a ser regida pelas flutuações da Rg, mas o que se nota é uma variação do Rr em função da época do ano (seco ou chuvoso), precipitação e cobertura do solo por ervas daninhas, que são compostas por espécies generalistas e de ampla distribuição geográfica (Figura 3b). Como o ano de 2022 a precipitação na época chuvosa foi acima na normal, então nota-se uma descaracterização nas curvas de Rr com alguns núcleos fora do padrão (Figura Rr). Alguns núcleos de máximos são coincidentes com os de Rg numa clara tendência sazonal: maior na época seca ( $90,92 \text{ W m}^{-2}$ ) e menor na chuvosa ( $72,88 \text{ W m}^{-2}$ ). Independentemente da época do ano os maiores registros médios horários foram próximos ao meio dia ( $130 \text{ W m}^{-2}$ ). Com isso a Rr apresentou média horária anual de  $86,90 \text{ W m}^{-2}$ . Querino et al. (2022) encontraram para uma área de caatinga, na mesma região de estudo, média anual de  $45,45 \text{ W m}^{-2}$ .

Figura 3 - Variabilidade média horária da (a) Radiação Solar Global (Rg) e (b) Refletida (Rr), ambos em  $\text{W m}^{-2}$ , no período experimental



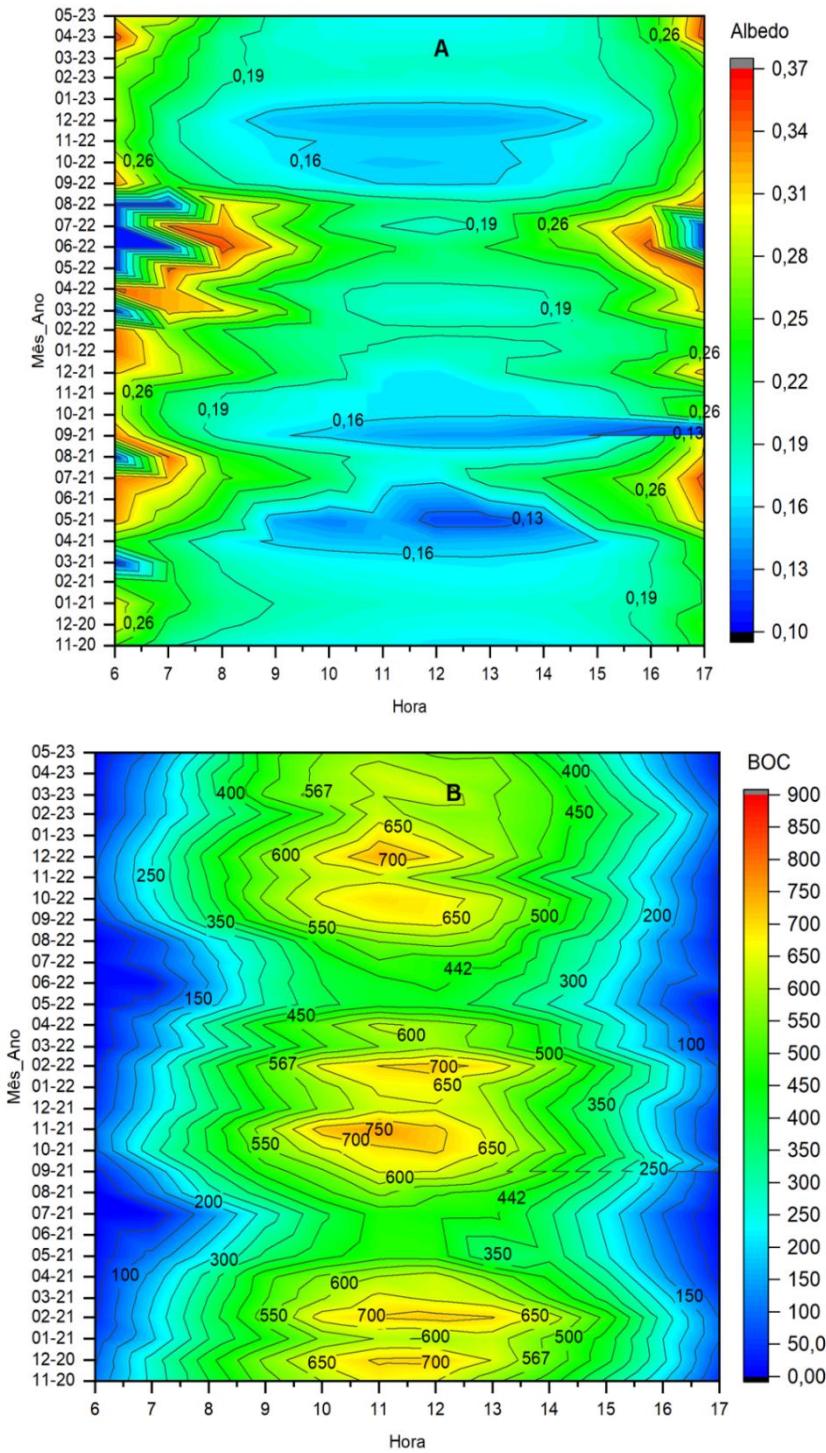


Fonte: Os autores, 2024.

Conforme Figura 4a se notou baixa variação do albedo em torno do meio-dia (média de 0,17), portanto, não estando associado a cobertura do solo por ervas daninhas, mas sim devido a variação do ângulo zenital. Isso chama a atenção, pois segundo Falcão et al. (2022), as espécies herbáceas da Caatinga ficam ausentes por um longo período de estiagem (período seco) e florescem simultaneamente na estação favorável (período chuvoso) e essa característica as tornam tão importantes, inclusive para o balanço de radiação. O albedo de solo nu pode ser função da cor do solo, teor de umidade, matéria orgânica, textura/rugosidade e outras características do solo, segundo He et al. (2019). O valor médio diário anual numa Caatinga (0,14) encontrados por Teixeira et al. (2008), Pires et al. (2017) e Querino et al (2022) mostram um razoável impacto no albedo quando comparados com a média do estudo em tela (0,21). Outro fato marcante é que existe uma diferença entre os períodos seco (0,19) e chuvoso (0,24). Souza et al. (2021) também encontraram maiores albedo na estação chuvosa e afirmaram que não há dúvidas de que a precipitação é um dos fatores, se não o fator mais importante na influência do albedo, pois atua diretamente na alteração da cobertura vegetal, principalmente no semiárido. Maiores albedos implicam em menor quantidade de energia radiante absorvida pela superfície. Bezerra et al (2014) detectaram, através da utilização de sensoriamento remoto, maiores albedos no período de estiagem em áreas de solo exposto (nu) (variando entre 0,30 a 0,35) no semiárido brasileiro.

Como era de se esperar o Balanço de Ondas Curtas (BOC) (Figura 4b) demonstrou muita semelhança com Rg e simetria visual entre os turnos matutino e vespertino. O percentual do BOC médio foi de 85% da Rg. Querino et al. (2022) encontraram um percentual de 89,79% em floresta de caatinga. Esta redução, ocorreu, provavelmente, devido ao aumento do albedo e, portanto, redução do BOC. O valor médio horário geral do BOC ao longo do experimento foi de 361,97 W m<sup>-2</sup>. O BOC na estação chuvosa (252,87 W m<sup>-2</sup>) equivale a 62,14% da estação seca (406,92 W m<sup>-2</sup>). Esta tendência sazonal é uma característica regional, já que a Rg e Rr são dependentes de vários fatores, conforme relatado anteriormente, que provocam esta redução na estação chuvosa nas componentes de radiação de ondas curtas. Outro fato interessante é que ocorreu um superávit pluviométrico na estação chuvosa do segundo ano do experimento (2022).

Figura 4 - Variabilidade média horária do (a) albedo (adimensional) e (b) Balanço de Ondas Curtas (BOC), em  $\text{W m}^{-2}$ , no período experimental



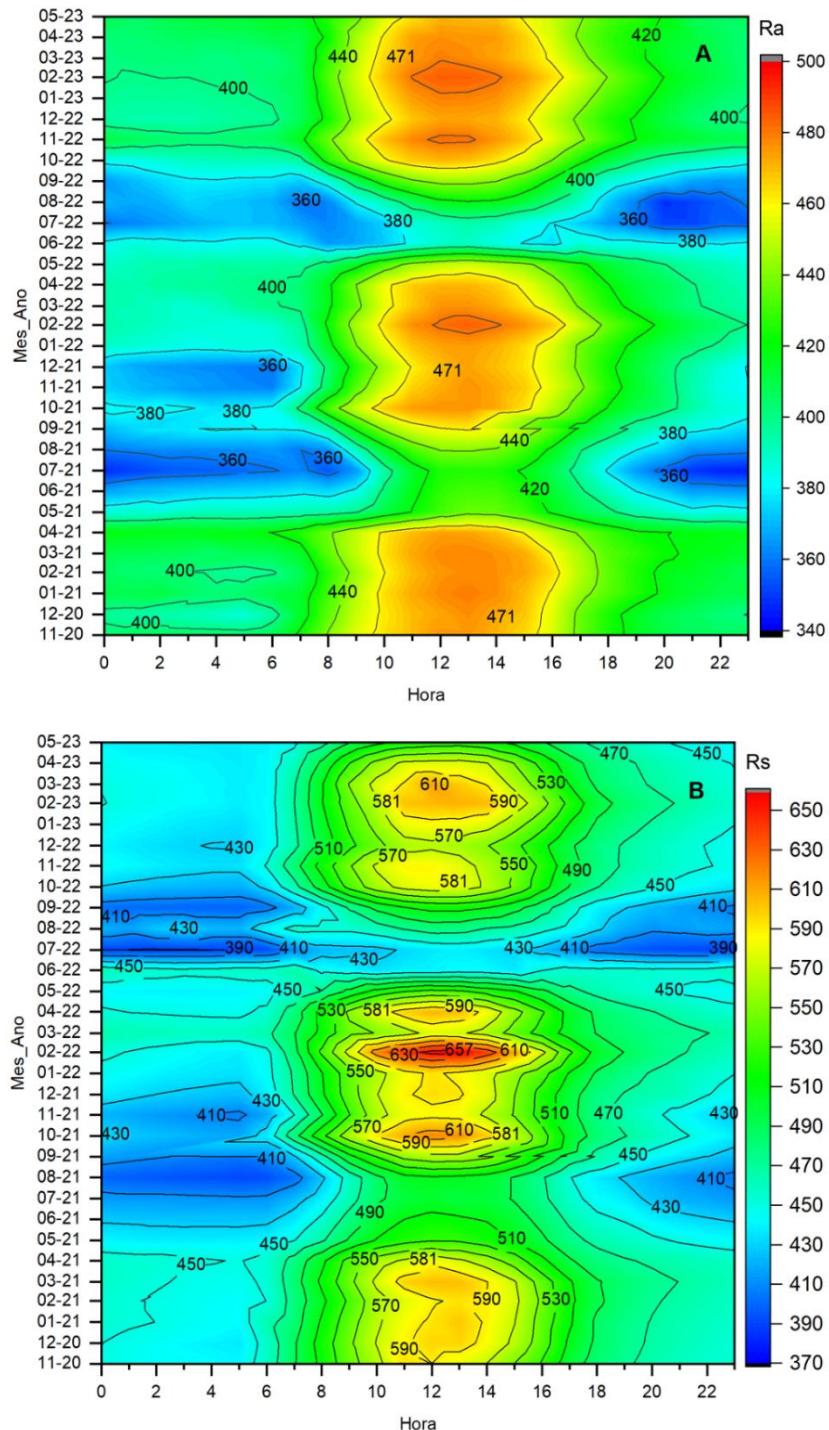
Fonte: Os autores, 2024.

#### ***Radiação de Ondas Longas da Atmosfera (Ra), da Superfície (Rs) e do Balanço de Ondas Longas (BOL)***

Para analisar os processos de trocas entre a superfície (com e sem vegetação) e a atmosfera em regiões semiáridas é necessário considerar os diferentes efeitos que ocorrem durante os períodos seco e chuvoso. Claramente na Figura 5a tem-se três núcleos de máximas da Radiação de Ondas Longas

Atmosférica (Ra) entre 10 e 16 horas na época seca, mas abrangendo os períodos de transição seco-chuvoso e chuvoso-seco. Obviamente que isso está associado ao aumento diário da temperatura do ar e da nebulosidade. Nota-se também amplas faixas de mínimas emissões atmosféricas nos períodos correspondentes ao chuvoso regional, como também é característico valores mínimos no período noturno. Outro fato relevante é que o período seco apresenta valores relativamente mais elevados, mas no geral obteve-se uma média de 414,48 W m<sup>-2</sup>.

Figura 5 - Variabilidade média horária da (a) Radiação de Ondas Longas emitidas pela Atmosfera (Ra) e (b) emitidas pela Superfície (Rs), ambas em W m<sup>-2</sup>, no período experimental

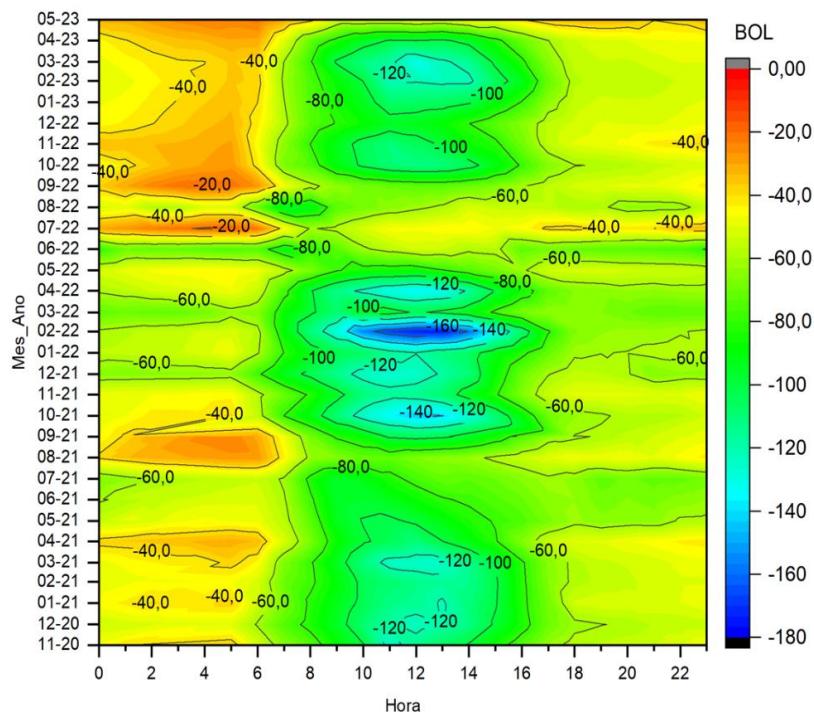


Fonte: Os autores, 2024.

A Radiação de Ondas Longas da Superfície (Rs) (Figura 5b) segue o mesmo padrão da Ra (ou vice-versa) com médias máximas entre 10 e 16 horas no período seco e faixas de mínimas emissões no período chuvoso, as quais se apresentam com uma amplitude diária extremamente pequena. Esses mínimos estão associados obviamente a menor temperatura do solo e maior cobertura vegetal que, no caso em questão, é por “ervas daninhas”, sendo que ambos são influenciados pela precipitação e, mesmo assim, pode-se afirmar que a temperatura da superfície apresentou uma resposta mais rápida a incidência de radiação solar. A média no período diurno foi de 517,60 W m<sup>-2</sup>, enquanto no noturno de 443,98 W m<sup>-2</sup>.

Como o Balanço de Ondas Longas (BOL) é a contabilização entre Ra e Rs, então o mesmo também apresentou um perfil semelhante a ambos, com núcleos máximos (valores mais negativos) na época seca (Figura 6). Em princípio, estes valores mais negativos estão mais relacionados com o aumento da Rs em consequência da maior exposição do solo, conforme já mencionado anteriormente. Nota-se também que o BOL é menos negativo na época chuvosa devido possivelmente ao aumento da precipitação/nebulosidade, o que corrobora com as afirmações de Singh et al. (2014). Não foi detectado nenhum valor positivo de BOL. Isso aponta que a superfície emite mais que a atmosfera sempre. Com isso, o BOL apresentou uma média geral de -66,31 W m<sup>-2</sup>.

Figura 6 - Variabilidade média horária do Balanço de Ondas Longas (BOL), em W m<sup>-2</sup>, no período experimental



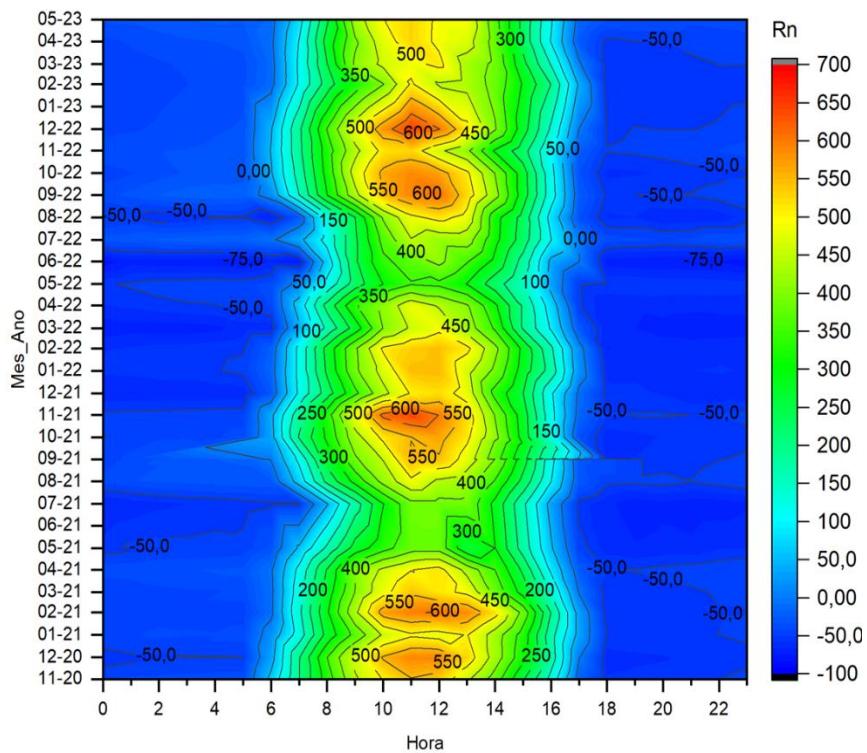
Fonte: Os autores, 2024.

### Balanço de Radiação (Rn)

Carvalho et al (2018) e Sun et al. (2010) afirmaram que a sazonalidade e magnitude do Saldo de radiação (Rn) é função da época do ano, regime hídrico e cobertura do solo. Em termos de Rn a variação sazonal foi muito semelhante ao da Rg (Figura 3a) com as maiores magnitudes ocorrendo no período seco. Pires et al. (2017) acreditam que existe uma relação consistente entre Rg e Rn na região semiárida. À noite, o balanço de radiação é negativo em resposta à perda relativamente grande de radiação de onda longa devido ao céu claro e a umidade do ar ser baixa. Esse resfriamento radiativo da superfície é balanceado pela perda de energia a partir do solo, o qual resfria durante a noite. A variação noturna do Rn é menor se comparada com a variação diurna. A variação estacional do Rn é relevante. A curva do ciclo diurno de Rn (Figura 7) é geralmente simétrica em relação ao meio dia.

Constata-se no experimento que houve uma redução de 36,78% da época seca ( $134,75 \text{ W m}^{-2}$ ) para chuvosa ( $85,18 \text{ W m}^{-2}$ ), muito possivelmente relacionada com as desigualdades no albedo (reflexão) e temperatura do solo (emissão de ondas longas), cuja magnitude geral foi de  $295,65 \text{ W m}^{-2}$ . Querino et al. (2022) encontraram na Caatinga no mesmo sitio experimental  $Rn = 341,05 \text{ W m}^{-2}$ . Uda et al. (2013) encontraram  $Rn$  de  $498 \text{ W m}^{-2}$  em solo exposto escuro, enquanto Pan et al. (2016) encontraram  $519,4 \text{ W m}^{-2}$  em um deserto no noroeste da China.

Figura 7 - Variabilidade média horária do Balanço de Radiação ( $Rn$ ), em  $\text{W m}^{-2}$ , no período experimental



Fonte: Os autores, 2024.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da presente pesquisa são uteis para o entendimento da dinâmica do balanço de radiação em um ambiente sem vegetação natural sob condições semiáridas no nordeste do Brasil.

As variações na cobertura do solo por ervas daninhas, principalmente na época chuvosa, por causa da precipitação, têm influência significativa na variabilidade dos componentes do balanço de radiação.

Os principais motivos para menores saldos de radiação ( $Rn$ ) em relação a área vegetada estão associadas aos maiores albedo e emissão de radiação de ondas longas pela superfície, mas dependem das características de época do ano, principalmente as relacionadas as precipitações.

Foi constatada grande variação nos valores médios horários de albedo, cujos valores médios na estação seca foram menores do que na estação chuvosa. Com a retirada total da vegetação detectou-se um incremento médio de 91,19% na radiação solar refletida ( $Rr$ ) e aumento no albedo para 0,21 (acréscimo de 50%).

Apesar das oscilações de  $Ra$  e  $Rs$  durante o experimento o BOL foi sempre negativo, pois depende da temperatura da superfície e nebulosidade/precipitação, uma vez que o mesmo variou de  $-69,0 \text{ W m}^{-2}$  na estação seca para  $-54,06 \text{ W m}^{-2}$  na chuvosa.

A distribuição média horária do saldo de radiação ( $Rn$ ) mostra basicamente o mesmo padrão que as distribuições da radiação solar global ( $Rg$ ), refletida ( $Rr$ ) e balanço de radiação de ondas curtas (BOC).

Quando se desmata a Caatinga tem-se uma diminuição de 7,02% no BOC, um incremento de 37,08% no BOL e uma redução de 13,28% no Rn.

Finalmente, estas investigações permitiram entender e mostrar como a retirada total da vegetação natural da caatinga afeta todo o contínuo solo-planta-atmosfera na região semiárida do NEB, o que é importante para avaliar o impacto das mudanças no uso da terra no balanço de radiação, as quais podem induzir mudanças microclimáticas, devido à exposição direta do solo à radiação solar, precipitação e vento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Senhor Augusto Moura, proprietário da Fazenda Mourão, pelo apoio logístico durante a execução do experimento. Agradecemos também a todos que ajudaram durante os trabalhos de campo.

## REFERÊNCIAS

- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; TAMBOSI, L. R.; MATSUMOTO, M.; METZGER, J. P.; FONSECA, C. R. Restoration priorities for Caatinga dry forests: Landscape resilience, connectivity and biodiversity value. *Journal of Applied Ecology*, p.1-12, 2022. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14131>
- BARBOSA NETO, M.V., DE ARAÚJO, M.S.B., DE ARAÚJO FILHO, J.C. ; SAMPAIO, E.V.D.S.B.; ALMEIDA, B.G. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region. *Model. Earth System Environ.*, v.7, p.1183–1191, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01026-y>
- BEZERRA, J.M.; MOURA, G.B.A.; SILVA, B.B.; LOPES, P.M.O.; SILVA, E.F.F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.73-84, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100010>
- CAMPOS, S.; MENDES, K.R.; SILVA, L.L.; MUTTI, P.R.; MEDEIROS, S.S.; AMORIM, L.B.; SANTOS, C.A.C.; PEREZ-MARIN, A.; RAMOS, T.M.; MARQUES, T.V.; LUCIO, P.S.; COSTA, G.B.; SOLVA, C.M.S.; BEZERRA, G.B. Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.271, p.398-412, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.03.018>
- 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. Balanço de energia e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar por dois métodos micrometeorológicos. *Agrometeoros*, v. 25, p. 101-111, 2017. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26271>
- CARVALHO, H. F. S.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. Fluxos de Radiação e Energia em Caatinga Preservada e Cana-de-Açúcar no Semiárido. *Revista Brasileira De Meteorologia*, v. 33, n.3, p.452–458, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786333005>
- CHEN, X.; YU, Y.; CHEN, J.; ZHANG, T.; LI, Z. Seasonal and interannual variation of radiation and energy fluxes over a rain-fed cropland in the semi-arid area of Loess Plateau, northwestern China. *Atmospheric Research*, v. 176-177, n. 1, p. 240-253, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.03.003>
- CONTE, L.; RENNER, M.; BRANDO, P.; OLIVEIRA DOS SANTOS, C.; SILVÉRIO, D.; KOLLE, O.; TRUMBORE, S.E.; KLEIDON, A. Effects of tropical deforestation on surface energy balance partitioning in Southeastern Amazonia estimated from maximum convective power. *Geophysical Research Letters*, v. 46, n. 8, p. 4396-4403, 2019. <https://doi.org/10.1029/2018GL081625>
- DE ARAÚJO, M. L. S.; SANTOS, J. R. N.; FEITOSA, F. E. C. S.; SANTOS, J. S. dos; SILVA, V. A. R.; ALMEIDA, J. L.; RIBEIRO, C. V.; SILVA, F. B. Caracterização espaço-temporal dos componentes do balanço de radiação e calor na região de transição Amazônia-Cerrado. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 24, p. 1-19, 2019. <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.51586>

FALCÃO, E.E.S.; SILVA, I.R.; LIMA, A.P.F.; DUARTE, M.D.D.C.; MACHADO FILHO, H. "Plantas daninhas" da Caatinga, uma abordagem florística. **Paubrasilia**, v.5, e0106, 2022. <https://doi.org/10.33447/paubrasilia.2022.e0106>

HE, T.; GAO, F.; LIANG, S.; PENG, Y. Mapping Climatological Bare Soil Albedos over the Contiguous United States Using MODIS Data. **Remote Sensing**, v.11, p.666, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11060666>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomas e Sistema Costeiro Marinho do Brasil**. Relatório técnico. Rio de Janeiro: IBGE, p.164, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022**. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2022/Previa\\_da\\_Populacao/AL\\_POP2022.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/Previa_da_Populacao/AL_POP2022.pdf). Acesso em: 10 out. 2023.

LIMA, J.R.S.; OLIVEIRA, C.L.; BARBOSA, A.C.; ANTONINO, A.C.D.; SOUZA, E.S., Variação sazonal dos fluxos de energia e evapotranspiração em caatinga no agreste pernambucano. **Agrometeoros**, v.25, p. 113-120, 2017. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26272>

LOPES JÚNIOR, J. M.; MOURA, M. A. L.; COSTA, N. B.; FERREIRA JUNIOR, R. A. Frequência e probabilidade de ocorrência de transmitância atmosférica global para a região de Maceió-Alagoas. **Brazilian Journal of Development**, v.7, p.14685-14700, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-204>

LOPES JÚNIOR, J. M.; QUERINO, C. A. S.; ANDRADE, A. M. D.; CARNEIRO, R. G.; MOURA, M. A. L. Balanço de radiação da cana-de-açúcar na região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 83-101, 2023. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.15785>

LYRA, G.B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; CUNHA-ZERI, G.; ZERI, M. Rainfall Variability over Alagoas under the Influences of SST Anomalies. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.129, p.157–171, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0461-1>

LYRA, G.B., DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; ZERI, M. (2014) Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v.34, p.3546–3558, 2014. <https://doi.org/10.1002/joc.3926>

MAPBIOMAS. **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022 – Coleção 8**. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomas/VIJCL>. Acessado em: 10 out. 2023.

MOURA, M.R.; OLIVEIRA, G.A.; PAGLIA, A.P.; PIRES, M.M.; SANTOS, B.A. Climate change should drive mammal defaunation in tropical dry forests. **Global Change Biology**, 2023. <https://doi.org/10.1101/2023.08.17.553094>

PAN, X.; LIU, Y.; FAN, X. Satellite Retrieval of Surface Evapotranspiration with Nonparametric Approach: Accuracy Assessment over a Semiarid Region. **Advances in Meteorology**, v. 2016, Article ID 1584316, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1584316>

PEREIRA, E.R.R; FREITAS, J.C.; ANDRADE, A.R.S.; MACEDO, M.L.A.; SILVA NETO, M.F. Variabilidade do número de dias de chuva no estado de Alagoas. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.5, n.1, p.7-26, 2012. <https://doi.org/10.5777/paet.v5i1.1696>

PIRES, W.N.; MOURA, M.S.B.; SOUZA, L.S.B.; SILVA, T.G.F.; CARVALHO, H.F.S. Fluxos de radiação, energia, CO<sub>2</sub> e vapor d'água em uma área de caatinga em regeneração. **Agrometeoros**, v. 25, p.143-151, 2017. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26289>

QUERINO, C.A.S.; LOPES JÚNIOR, J. M.; MOURA, M.A.L. Balanço de Radiação no Bioma Caatinga no Semiárido Alagoano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.06, p.2715-2729, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.6.p2715-2729>

SANTOS, C. M.; SOUZA, J. L.; TIBA, C.; TERAMOTO, E. T.; MELO, R. O. Estimativa da irradiação solar global horária a partir da temperatura do ar para o semiárido de Alagoas, Brasil. **Energías Renovables y Medio Ambiente**, v.32, p. 19 - 28, 2013.

SANTOS, M. F.; QUERINO, C. A. S.; SILVA JUNIOR, J. R.; CARNEIRO, R.G.; LOPES JUNIOR, J. M.; MOURA, M. A. L. Variabilidade estacional do balanço de ondas longas em um ecossistema de

mata atlântica no estado de Alagoas-Brasil. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), Uberlândia, MG, v. 21, p. 201- 213, 2020. <https://doi.org/10.14393/RCG217551191>

SILVA, A.S.; SILVA, F.H. S.; SANTOS, G.; LEITE, M.J.H. Desmatamento multitemporal no bioma Caatinga no município de Delmiro Gouveia, Alagoas. **Revista Verde**, v.14, p.654-657, 2019.

SINGH, N.; BHATTACHARYA, B. K.; NANDA, M. K.; SONI, P.; PARIHAR, J. S. Radiation and energy balance dynamics over young chir pine (*Pinus roxburghii*) system in Doon of western Himalayas. **Journal of Earth System Science**, v. 123, n. 7, p. 1451–1465, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12040-014-0480-6>

SOUZA, A. M.; SANTOS E SILVA, C.M.; BEZERRA, B.G. Caatinga Albedo Preserved and Replaced by Pasture in Northeast Brazil. **Atmosphere**, v.12, p.1622-1637, 2021.

<https://doi.org/10.3390/atmos12121622>

SOUZA, L.S.B.; MOURA, M.S.B.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, T.G.F. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 41-55, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.1.p041-055>

SUN, G.; ALSTAD, K.; CHEN, J. CHEN, S.; FORD, C. R.; LIN, G.; LIU, C.; LU, N.; MCNULTY, S.G.; MIAO, H.; NOORMETS, A.; VOSE, J.M.; WILSKY, B.; ZEPPEL, M.; ZHANG, Y.; ZHANG, Z. A general predictive model for estimating monthly ecosystem evapotranspiration. **Ecohydrology**, v. 4, n. 2, p. 245-255, 2010. <https://doi.org/10.1002/eco.194>

TEIXEIRA, A.H. C.; BASTIAANSSEN, W.G.M.; AHMAD, M.D.; MOURA, M.S.B.; BOS, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v.362, p.110–127, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.011>

UDA, P.K.; CORSEUIL, C.W.; KOBIYAMA, M. Mapeamento do Saldo de Radiação da Bacia do Alto Rio Negro, Região Sul Brasileira. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.2, p.249-258, 2013. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n2.p249-258>

XIA, Z. Z. Simulation of the Bare Soil Surface Energy Balance at the Tongyu Reference Site in Semiarid Area of North China. **Atmospheric and Oceanic Science Letters**, v. 3, n. 6, p.330-335, 2010. <https://doi.org/10.1080/16742834.2010.11446892>

---

Recebido em: 14/03/2024

Aceito para publicação em: 15/01/2025