



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

ANÁLISES DOS PARÂMETROS ATMOSFÉRICAS E AVALIAÇÃO DO BALANÇO DE ENERGIA SUPERFICIAL DA GELEIRA AGUAS CALIENTES-PERU

Christian Torres ^(a), Jorge Arigony ^(b), Wilson Suarez ^(c), Anselm Arndt ^(d),
Nelson Santillan ^(e), Éder Maier ^(a)

^(a) Laboratório de Climatologia e Cartografia, Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande, christian010194@gmail.com

^(b) Laboratório de Monitoramento da Criosfera, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, arigony@gmail.com

^(c) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), wil_suarez@hotmail.com

^(d) Geography Department, Humboldt-Universität zu Berlin, anselm.arndt@geo.hu-berlin.de

^(e) Área de Evolución de Glaciares y Lagunas, Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA), nsantillan@ana.gob.pe

Eixo: A climatologia no contexto dos estudos da paisagem e socioambientais

Resumo/

Dados meteorológicos do período de dezembro de 2016 até de dezembro de 2017 coletados a 5800 m acima do nível do mar (anm) na zona de ablação da geleira Aguas Calientes, nos Andes ocidentais Sul do Peru foram analisados para avaliar os parâmetros atmosféricas e o balanço de energia superficial (SEB). A temperatura média do ar foi -4°C , a umidade relativa média foi 57%, a velocidade média do vento foi 3,9 m/s e a pressão atmosférica média foi 507,5 hPa. A principal fonte de energia para o SEB é o saldo da radiação de onda curta (93 W/m^2), controlada pelo albedo



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

superficial. O saldo da radiação de onda longa (-54 W/m^2) é o segundo componente. O fluxo turbulento de calor latente negativo (-36 W/m^2) indica uma forte sublimação, particularmente, durante as estações do inverno e da primavera. O fluxo turbulento de calor sensível foi negativo e positivo.

Palavras chave: Calor Latente; Calor Sensível; Albedo; Geleira Aguas Calientes.

1. Introdução

A Cordilheira dos Andes estende-se pela parte ocidental de América do Sul, abrangendo 99% das geleiras tropicais do todo o mundo, os quais 71% ficam no Peru (CHEVALLIER et al., 2011). Nesse contexto, o balanço hidrológico nas regiões montanhosas se define pela interação entre o clima, os sistemas hidrológicos e as geleiras. Os principais rios nos Andes se formam na cabeceira das bacias hidrográficas, como resultado da precipitação e ablação da neve e gelo (BARNETT; ADAM; LETTENMAIER, 2005). A água da ablação das geleiras é aproveitada pela população rural e para as atividades socioeconômicas (3,92 milhões de usuário doméstico, 2096 km² de terra irrigadas e 732 MW de energia (BUYTAERT et al., 2017).

A temperatura do ar nos Andes apresenta uma tendência de aquecimento de 0,23 °C/década (1950-2010) (VUILLE et al., 2015) e a precipitação mostra uma tendências de redução (HEIDINGER et al., 2018), em consequência as geleiras dos Andes estão sofrendo acelerado recuo nas últimas décadas. Além das mudanças da temperatura e da precipitação, as partículas absorventes de luz (e.g., *black carbon* e poeira) presentes na camada da neve contribuem para recuo acelerado das geleiras nos Andes (SCHMITT et al., 2015; TORRES et al., 2018). Porém a contribuição das geleiras Andinas para a hidrologia local é pouco estudada em termos quantitativos.

Para quantificar essa contribuição, um primeiro passo é compreender o balanço de energia e massa, a fim de corroborar com o entendimento das mudanças climáticas das geleiras tropicais. As pesquisas baseadas em hidrogramas e modelos semi-empíricos sugerem que o



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

recuo das geleiras nos Andes está mudando o regime de escoamento dos rios em até 30% (BARAER et al., 2012). Para explicar o recuo acelerado das geleiras nos Andes peruanos é importante primeiro compreender os principais parâmetros atmosféricas que interagem com o glacial e avaliar a troca de energia geleira-atmosfera. Por isso, neste estudo analisa-se os principais parâmetros atmosféricas e avalia-se o balanço de energia superficial (SEB) na geleira Aguas Calientes. Para calcular o SEB se parametrizaram fisicamente alguns componentes energéticos.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A geleira Aguas Calientes está localizada a $15^{\circ}18'S$ $72^{\circ}34'O$, no Nevado Coropuna, na cordilheira ocidental no sul dos Andes Peruanos, entre 5750 m até 6300 m (Figura 1). A área da geleira é $2,3 \text{ km}^2$ e recuou 20% nos últimos 30 anos (RAMOS, 2017).

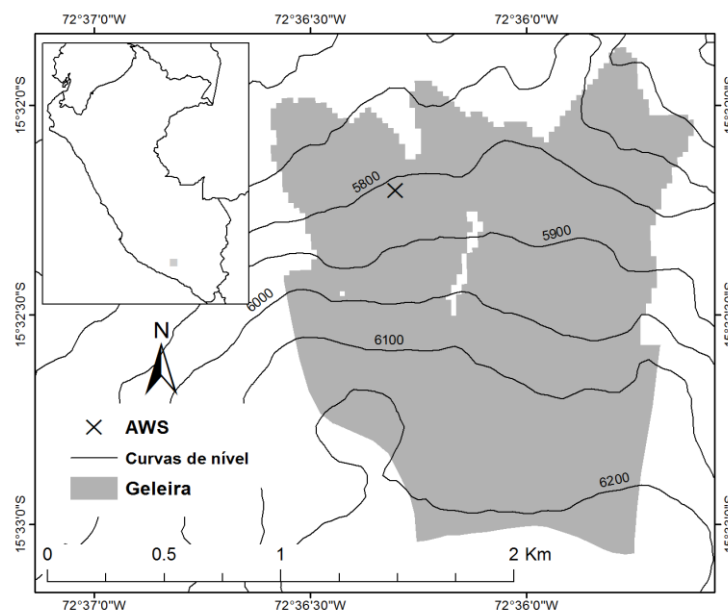


Figura 1. Localização da geleira Aguas Calientes. O X representa a localização da estação meteorológica automática (AWS) e as linhas pretas representam as curvas de nível.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

2.2. Estação meteorológica

Foram usados dados de uma estação meteorológica automática (AWS, sigla em inglês), que foi instalada em setembro de 2014 pelo *Servicio Nacional de Meteorologia y Hidrologia do Peru* (SENAMHI) e a ONG Aedes. A AWS está localizada na zona de ablação da geleira a 5800 m (Figura 1) e é considerada a estação de maior elevação da América do Sul.

A AWS está apoiada sobre a superfície e se movimenta com a geleira. A temperatura do ar e a umidade relativa se medem (Vaisala HMP45C) a 2 m sobre a superfície. A pressão atmosférica se mede (Vaisala CS106) à mesma altura. A velocidade e direção do vento se mede (Young propeller 05103) a 2.1 m. Um sensor Kipp & Zonen CRN4 mede os 4 componentes da radiação (radiação de onda curta incidente e refletida, radiação de onda longa incidente e refletida) a 2.1 m da superfície. Para manter sempre em paralelo os sensores em relação à superfície, se construiu um tripé giroscópio estabilizador que permite a nivelção dos sensores apesar da inclinação da base da estação durante a ablação da geleira. Todos os sensores estão programados para coletar dados a cada 30 minutos. O período de análises é de 22 de dezembro de 2016 até 19 de dezembro de 2017.

2.3. Pré-processamento dos dados e SEB

O pré-processamento dos dados consistiu em: (1) revisão da continuidade da série temporal, (2) revisão dos valores dentro dos limites de medida dos sensores, (3) interpolação dos valores não coletados, aplicando polinômios de primeiro, segundo e terceiro grau, sendo que o polinômio de terceiro grau foi o que melhor se ajustou. Além disso, para a radiação de onda curta incidente e refletida, se aplicou um filtro com o ângulo zênital do sol, em que, os valores com ângulos $<65^\circ$ foram conservados, e uma correção para radiação de onda curta incidente foi feita, devido ao efeito topográfico de inclinação e direção do terreno segundo método utilizado por Georg *et al.* (2016). Os ângulos de inclinação e direção do terreno foram obtidos do modelo de elevação digital do *Shuttle Radar Topography Mission* com resolução espacial de 1-arc (STRM, sigla em inglês).

Para calcular o balanço da energia superficial SEB se aplicou a seguinte equação matemática:

$$SEB = SW \downarrow + SW \uparrow + LW \downarrow + LW \uparrow + Q_{sens} + Q_{lat} \quad (\text{Eq. 1})$$



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Sendo ($SW\downarrow$) a irradiância de onda curta transmitida para baixo através da atmosfera, ($SW\uparrow$) a irradiância de onda curta refletida para cima, ($LW\downarrow$) a irradiância de onda longa transmitida para baixo, ($LW\uparrow$) a irradiância de onda longa emitida e refletida para cima. Não se considerou o fluxo de energia proveniente das subsuperfície e da precipitação líquida, porque a geleira fica a uma elevada altitude e é pouco frequente a ocorrência de chuvas.

Os fluxos turbulentos de calor sensível (Q_{sens}) e latente (Q_{lat}) na camada limite planetária da geleira se parametrizam pelo método aerodinâmico em massa (HUINTJES et al., 2015; OERLEMANS, 2001), conforme as seguintes equações (Eq. 2 e 3).

$$Q_{sens} = \rho_{air} c_p C_{se} u (T_{air} - T_{surf}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Q_{lat} = \rho_{air} L_E L_S C_{lat} u (q_{air} - q_{surf}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo (ρ_{air}) a densidade do ar, calculado a partir da pressão atmosférica, (c_p) a capacidade específica do calor do ar (1004,67 J/kg K), (u) a velocidade do ar, (T_{air}) a temperatura do ar a 2 m da superfície, (T_{surf}) a temperatura da superfície calculado a partir da $LW\uparrow$ (SICART; HOCK; SIX, 2008), (L_E) calor latente de evaporação ($2,514 \times 10^6$ J/kg), (L_S) calor latente de sublimação, (q_{air}) a umidade específica a 2 m da superfície calculado a partir de RH, P_{atm} e pressão de vapor de saturação da água, (q_{surf}) a umidade específica da superfície também calculado a partir de RH igual a 100% (HUINTJES et al., 2015), P_{atm} a pressão de vapor de saturação da água. (C_{se}) e (C_{lat}) são os coeficientes de transferência em massa para calor sensível e latente, respectivamente. Oerlemans (2001) encontrou uma diferença de 5% entre C_{se} e C_{lat} , por tanto se assumiu $C_{se} = C_{lat}$. Calculamos C_{se} com a equação seguinte (Eq. 4) de Oerlemans (2001).

$$C_{se} = \frac{\kappa^2}{\left[\ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right]^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo (κ) a constante de Karman (0,41), (z) a altura dos sensores (2 m), (z_0) a altura da rugosidade da superfície do momento (5 mm) (SICART; HOCK; SIX, 2008). Uma correção aos fluxos



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

turbulentos calculados é feita para condições que tendem a estabilidade da atmosfera usando o método de Braithwaite (1995).

3. Resultados e discussões

3.1. Condições meteorológicas médias diárias

As condições meteorológicas médias diárias da AWS são apresentadas na Figura 2. A temperatura do ar (T_{air}) mostrou um ciclo sazonal com um valor médio de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. As médias diárias da T_{air} sempre estiveram abaixo do ponto de congelamento, com um mínimo de $-7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (em agosto) e um máximo de $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (em novembro). Observa-se uma alta variabilidade diária com um desvio padrão médio diário de $\pm 1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 2a).

A média da umidade relativa (RH), para todo o período de estudo, foi 57%, com um desvio padrão médio diário de $\pm 24\%$ (Figura 2b). Uma tendência negativa bem marcada se observa no inverno, com mínimas diárias de $\text{RH} < 25\%$ ocorrendo com mais frequência entre junho e agosto. Uma curta proporção de dias (5%) apresentou valores acima do percentil 95 ($\text{RH} > 90\%$).

A média da velocidade do vento (u) foi 3,9 m/s, com uma alta variabilidade e com desvio padrão médio diário ± 2 m/s (Figura 2c). Os 15% dos valores da média diária estiveram acima de 6 m/s, ocorrendo com maior frequência em julho. O 1% dos valores da média diária apresentam velocidades do vento que superam 10 m/s. A pressão atmosférica (P_{atm}) variou entre 505 e 510 hPa (Figura 2d).

3.2. Ciclo diurno da T_{air} e da u

Na Figura 3, se apresenta o ciclo diurno médio da temperatura do ar e da velocidade do vento. A temperatura do ar mostrou uma evidente flutuação com um intervalo horário de $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. O menor valor se observa às 6h, quando toda a energia disponível é liberada durante a noite (Figura 3a). No entanto, o maior valor se observa às 13h, uma hora depois que a radiação de onda curta incidente alcança sua maior magnitude.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

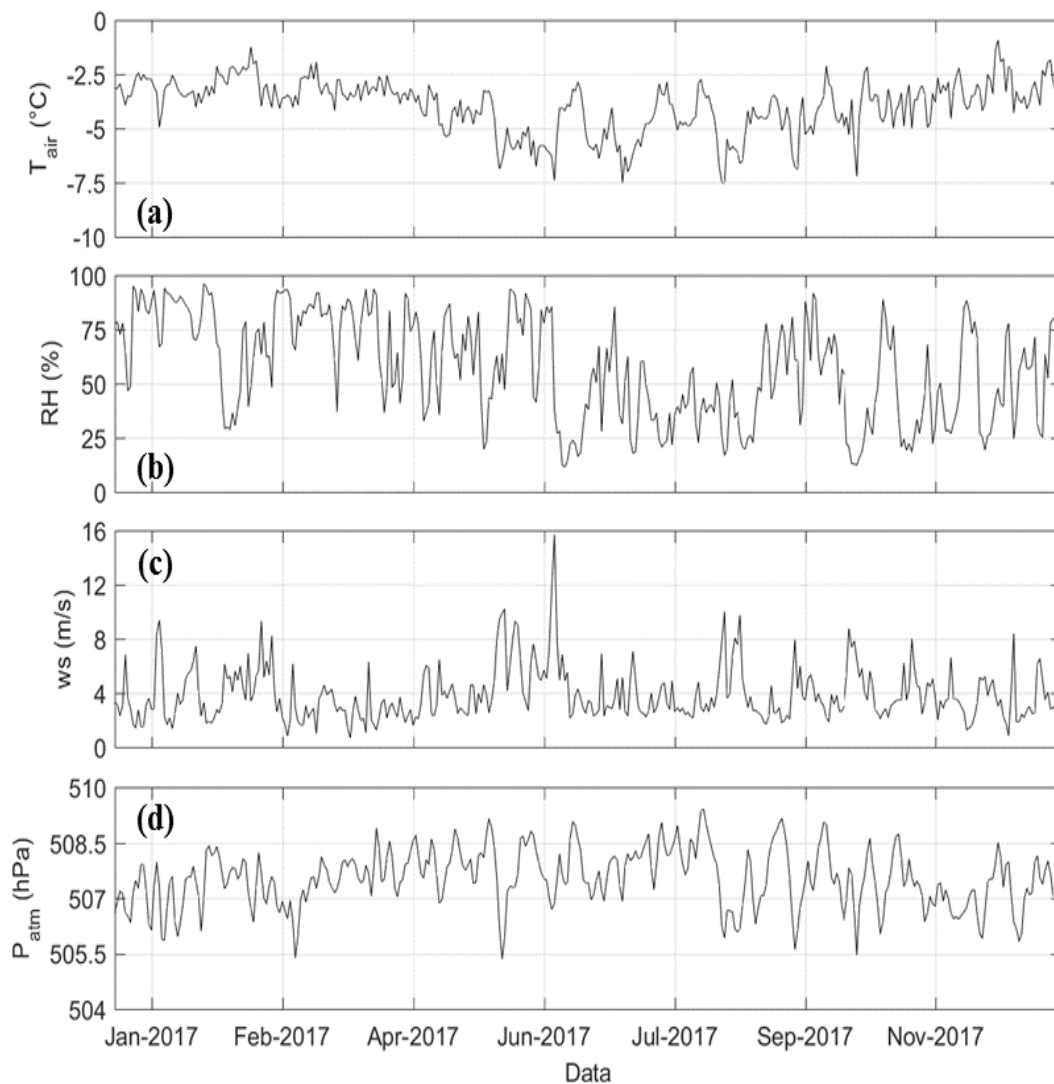


Figura 2. Média diária (a) temperatura do ar, (b) umidade relativa, (c) velocidade do vento e (d) pressão atmosférica para o período 22 de dezembro 2016 até 19 de dezembro 2017 (363 dias).

A variação da velocidade do vento apresenta um mínimo às 10h da manhã. Durante a tarde aumenta, alcançando magnitude máxima às 14h. Este comportamento é similar às geleiras de vale, onde a velocidade do vento aumenta durante a tarde (KLOK; NOLAN; VAN DEN BROEKE, 2005) como consequência de um déficit da temperatura a tarde (diferença da temperatura entre o manto de gelo e a atmosfera).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

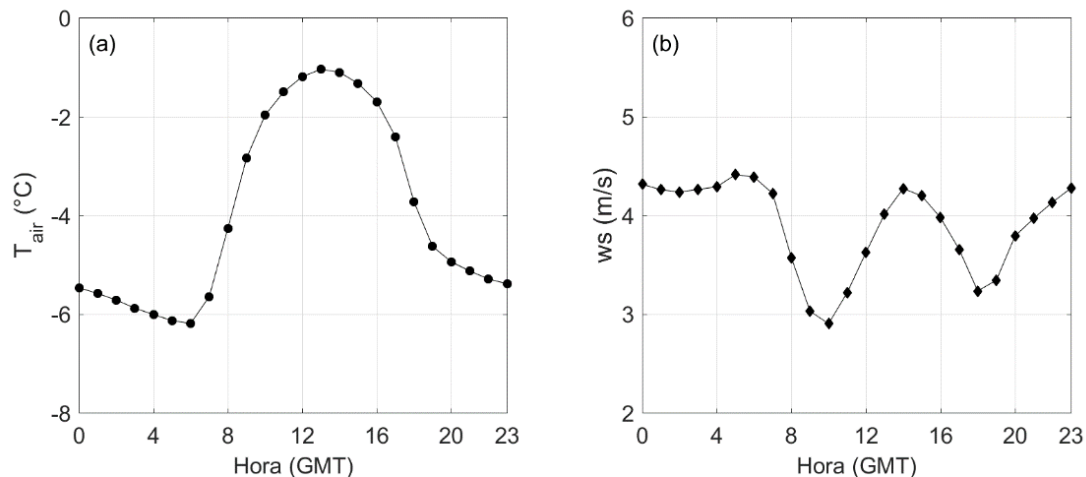


Figura 3. Ciclo diário médio da (a) temperatura do ar e da (b) velocidade do vento para o período 22 de dezembro 2016 até 19 de dezembro de 2017.

3.3. Fluxos de energia e SEB

Os componentes do balanço de energia superficial (SEB) são apresentados na Figura 4, para uma melhor representação da Figura, se calculou a média a cada 3 dias. Os resultados do SEB indicam que o saldo da radiação de onda curta (SW_{net}) foi altamente variável, desde valores médios altos de 116 W/m^2 no inverno e 139 W/m^2 na primavera, até menores de 67 W/m^2 no verão e 37 W/m^2 no outono. Além da mudança sazonal da elevação do sol, a principal razão da alta variabilidade sazonal da SW_{net} é o albedo superficial da geleira. O albedo médio (0,7) indica que a superfície da neve reflete a maior parte de SW_{net} no verão e no outono. No entanto, os albedos menores a 0,4 apresentados durante o inverno e a primavera se associam com menor SW_{\uparrow} refletida, como consequência maior SW_{net} .

O valor médio do saldo da radiação de onda longa (LW_{net}) no verão foi $-33 W/m^2$, maior que o valor médio de $-80 W/m^2$ no inverno. Esta diferença está relacionada com a variação em LW_{\downarrow} e LW_{\uparrow} , que são componentes da LW_{net} . A LW_{\uparrow} , que depende da temperatura da superfície da geleira, apresentou mudanças sazonais durante o período de observação. A LW_{\downarrow} , que depende da temperatura do ar, da cobertura de nuvens e da umidade, foi alta no verão e baixa no inverno (Zhang et al., 2013). No local de estudo, a umidade apresentou maior influência na LW_{\downarrow} com um coeficiente de determinação de 0,8.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

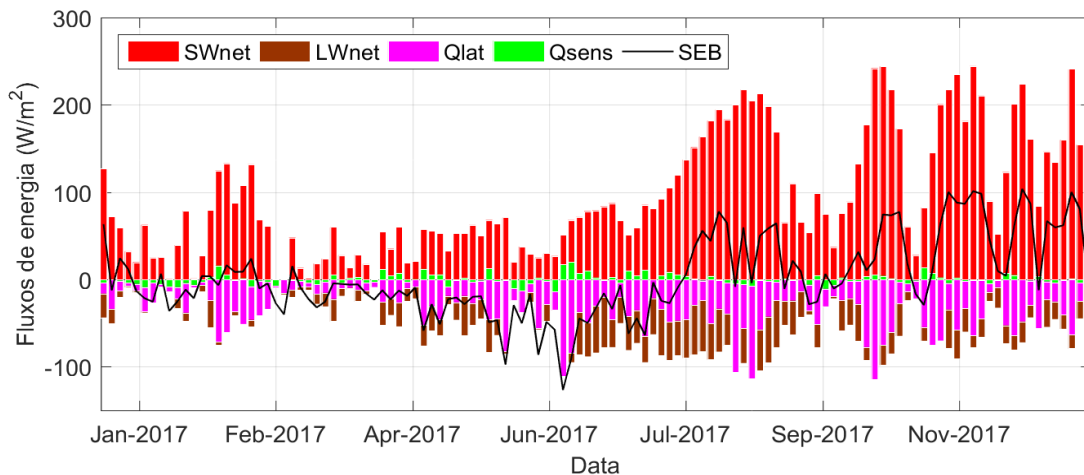


Figura 4. Variação média a cada 3 dias do saldo da radiação de onda curta (SW_{net}), saldo da radiação de onda longa (LW_{net}), dos fluxos turbulentos de calor latente (Q_{lat}) e sensível (Q_{sens}), e do balanço de energia superficial (SEB) para o período 22 de dezembro 2016 até 19 de dezembro de 2017.

As condições geralmente secas do local influenciam para que o fluxo turbulento de Q_{lat} sempre seja negativo (Figura 4) com valores altos no inverno, quando a velocidade do vento é maior e a umidade relativa é menor (Figura 3), o que indica que a superfície da geleira perde massa por sublimação, principalmente, nas estações do inverno e da primavera. Para o fluxo turbulento de Q_{sens} observa-se mudanças nos sinais de negativo para positivo, aconteceram durante todo o período de estudo. Os intervalos de valores para os fluxos turbulentos de Q_{lat} foi entre -3 W/m^2 e -161 W/m^2 e de Q_{sens} foi entre -22 W/m^2 e 22 W/m^2 . No entanto, a média de Q_{lat} foi -35 W/m^2 e de Q_{sens} foi 0 W/m^2 . Os altos índices das condições de vento contribuíram para valores maiores de Q_{lat} e de Q_{sens} no inverno e na primavera (Figura 2c).

O SEB foi influenciado principalmente pela SW_{net} , com uma variabilidade controlada pelas flutuações da LW_{net} e de Q_{sens} . A Figura 4, mostra que o SEB começou a ser positivo no final do inverno até o final do verão, com algumas flutuações devido, principalmente, ao alto albedo da superfície. Isso, demonstrou que a fusão acontece, principalmente, do final do inverno até o final do verão. O valor médio mais alto de SEB foi na primavera com 104 W/m^2 e mínimo no inverno -126 W/m^2 . A SW_{net} é uma função do albedo superficial, e de acordo com as análises do albedo superficial, este pode mudar rapidamente na estação meteorológica de 0,9 (quando há uma camada de neve) a 0,3 (em gelo de geleira limpo e sujo), sobretudo na primavera.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

4. Conclusões

Apresentou-se um registro meteorológico de 12 meses na zona de ablação da geleira Aguas Calientes. Observou-se um ciclo sazonal definido da temperatura do ar, com uma média para todo o período de estudo de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. A média da umidade relativa foi 57%, com uma tendência negativa bem marcada no inverno, com valores mínimos diários de $\text{RH} < 25\%$. A média da velocidade do vento foi 3,9 m/s, com valores que superam 10 m/s no inverno. A pressão atmosférica variou de 505 até 510 hPa.

O balanço de energia superficial é influenciado, principalmente, pelo saldo da radiação de onda curta (93 W/m^2), sendo controlada pelo albedo superficial que é variável no tempo. O saldo da radiação de onda longa (-54 W/m^2) é o segundo componente importante. O fluxo turbulento de calor latente sempre é negativo (-36 W/m^2), com maior influência no balanço de energia superficial no inverno e na primavera. Isto faz com que a superfície da geleira perca massa por sublimação, particularmente, na estação seca. O fluxo turbulento de calor latente é controlado, principalmente, pelo forte gradiente de umidade entre a superfície da geleira e a atmosfera. O fluxo turbulento de calor sensível muda de sinais, de negativo para positivo, isto faz com que a média para todo o período de estudo seja 0 W/m^2 .

5. Agradecimentos

Se agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado concedida ao primeiro autor. Além, ao Servicio Nacional de Meteorología y Hidrología do Peru (SENAMHI) e a ONG Aedes por compartilhar os dados da estação meteorológica Coropuna.

6. Referências Bibliográficas

BARAER, M. et al. Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. **Journal of Glaciology**, v. 58, n. 207, p. 134–150, 8 set. 2012.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

BARNETT, T. P.; ADAM, J. C.; LETTENMAIER, D. P. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. **Nature**, v. 438, n. 7066, p. 303–309, 17 nov. 2005.

BRAITHWAITE, R. J. Aerodynamic stability and turbulent sensible-heat flux over a melting ice surface, the Greenland ice sheet. **Journal of Glaciology**, v. 41, n. 139, p. 562–571, 20 jan. 1995.

BUYTAERT, W. et al. Glacial melt content of water use in the tropical Andes. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 11, p. 114014, 1 nov. 2017.

CHEVALLIER, P. et al. Climate change threats to environment in the tropical Andes: glaciers and water resources. **Regional Environmental Change**, v. 11, n. S1, p. 179–187, 14 mar. 2011.

GEORG, W. et al. On the energy balance closure and net radiation in complex terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 226–227, p. 37–49, 15 out. 2016.

HEIDINGER, H. et al. A new assessment in total and extreme rainfall trends over central and southern Peruvian Andes during 1965–2010. **International Journal of Climatology**, v. 38, p. e998–e1015, abr. 2018.

HUINTJES, E. et al. Evaluation of a Coupled Snow and Energy Balance Model for Zhadang Glacier, Tibetan Plateau, Using Glaciological Measurements and Time-Lapse Photography. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, v. 47, n. 3, p. 573–590, 8 ago. 2015.

KLOK, E. J.; NOLAN, M.; VAN DEN BROEKE, M. R. Analysis of meteorological data and the surface energy balance of McCall Glacier, Alaska, USA. **Journal of Glaciology**, v. 51, n. 174, p. 451–461, 8 set. 2005.

OERLEMANS, J. (JOHANNES). **Glaciers and climate change**. [s.l.] A.A. Balkema Publishers, 2001.

RAMOS, R. **Evolución de la cobertura glaciar del Nevado Coropuna y su relación con el entorno climático**. [s.l.] Universidad Nacional Agraria la Molina, 2017.

SCHMITT, C. G. et al. Measurements of light-absorbing particles on the glaciers in the Cordillera Blanca, Peru. **The Cryosphere**, v. 9, n. 1, p. 331–340, 12 fev. 2015.

SICART, J. E.; HOCK, R.; SIX, D. Glacier melt, air temperature, and energy balance in different climates: The Bolivian Tropics, the French Alps, and northern Sweden. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. D24, p. D24113, 23 dez. 2008.

TORRES, C. et al. Measurement of light absorbing particles in the snow of the Huaytapallana glacier in the central Andes of Peru and their effect on albedo and radiative forcing. **Optica Pura y Aplicada**, v. 51, n. 4, p. 1–14, 23 dez. 2018.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

VUILLE, M. et al. Impact of the global warming hiatus on Andean temperature. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, n. 9, p. 3745–3757, 16 maio 2015.