

LES BRISES DE MER ET L'ÎLOT DE CHALEUR À FLORIANÓPOLIS – BRÉSIL

Geisa ROCHA¹, Vincent DUBREUIL², Francisco MENDONÇA³

¹ Laboclima, UFPR, Curitiba, Brésil, geisarochageo@gmail.com

² LETG-COSTEL, UMR 6554 CNRS, Université Rennes 2, France, vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr

³ Laboclima, UFPR, Curitiba, Brésil, chico@ufpr.br

Résumé : Cet article étudie la relation entre les vents et l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (ICU) dans l'agglomération de Florianópolis, sur la côte sud du Brésil. L'ICU a été mesuré au cours d'une année (d'août 2018 à juillet 2019) à partir de stations météorologiques et de capteurs de température. Même s'il s'agit d'une région à vents constants, les résultats montrent que les brises marines sont plus intenses et rendent difficile la formation de l'ICU. Au contraire, les vents d'ouest d'intensité plus faible ont tendance à favoriser la formation d'ICU de magnitudes plus élevées.

Mots-Clés : îlot de chaleur urbain ; ville côtière ; brise de mer ; Brésil.

Abstract: This article studies the relationship between winds and the intensity of the urban heat island (UHI) in the agglomeration of Florianópolis, on the south coast of Brazil. The UHI was measured over one year (August 2018 to July 2019) from weather stations and temperature sensors. Even though it is a region with constant winds, the results show that the sea breezes are more intense and make it difficult for the ICU to form. On the contrary, westerly winds of lower intensity tend to favor the formation of ICUs of higher magnitudes.

Keywords: urban heat island; coastal town ; sea breeze ; Brazil.

Introduction

Ce travail étudie l'agglomération de Florianópolis, dans l'État de Santa Catarina, située au sud du Brésil (figure 1). L'environnement est littoral, avec une grande partie du territoire située sur une île (figure 1), la région compte environ 1 million d'habitants, avec une augmentation significative en été en lien avec les activités touristiques.

Le climat de la région est de type subtropical de l'hémisphère sud, classé comme Cfa selon Koppen (Dubreuil *et al.*, 2018). Malgré sa position côtière exposée au flux océanique, la présence d'un îlot de chaleur urbain supérieur à 6°C a déjà été observée dans des travaux antérieurs (Rocha *et al.*, 2020, 2021). À l'instar d'autres villes insulaires ou proches de la mer, la rugosité du tissu urbain interfère avec les flux des vents et des systèmes de brises, ce qui peut intensifier ou atténuer l'ICU (Papanastasiou *et al.*, 2010 ; Anjos, 2017).

Les systèmes atmosphériques qui agissent dans la région d'étude ont une dynamique et une saisonnalité différentes, reflétant la variabilité des vents. De plus, les vents synoptiques sont également modifiés par les caractéristiques physiques locales de l'environnement, telles que l'orographie, la rugosité du sol et la proximité de la mer, qui provoquent la dynamique des brises. L'urbanisation et les types de construction sont également des aspects à considérer, car les vents peuvent varier en direction et devenir plus ou moins intenses selon les formes urbaines.

Dans ce type d'environnement, il faut également tenir compte les brises de mer et de terre qui sont des vents locaux qui constituent la circulation locale dans les bas niveaux de l'atmosphère. Ce phénomène est dû à la différence de comportement de surface entre la mer et la terre, qui, lorsqu'elles sont exposées à la même quantité de rayonnement solaire, provoque un réchauffement plus important de la zone continentale au détriment de la masse d'eau (Mendonça et Dani-Oliveira, 2007). Le différentiel thermique génère un gradient de pression qui permet à un flux de s'établir de la mer vers la terre.

Dans ce contexte, le but de cet article est d'étudier la relation entre la vitesse et la direction du vent avec l'ICU, afin d'identifier les flux qui favorisent la formation d'ICU de plus haute intensité, ainsi que la période au cours de laquelle les ICU se produisent.

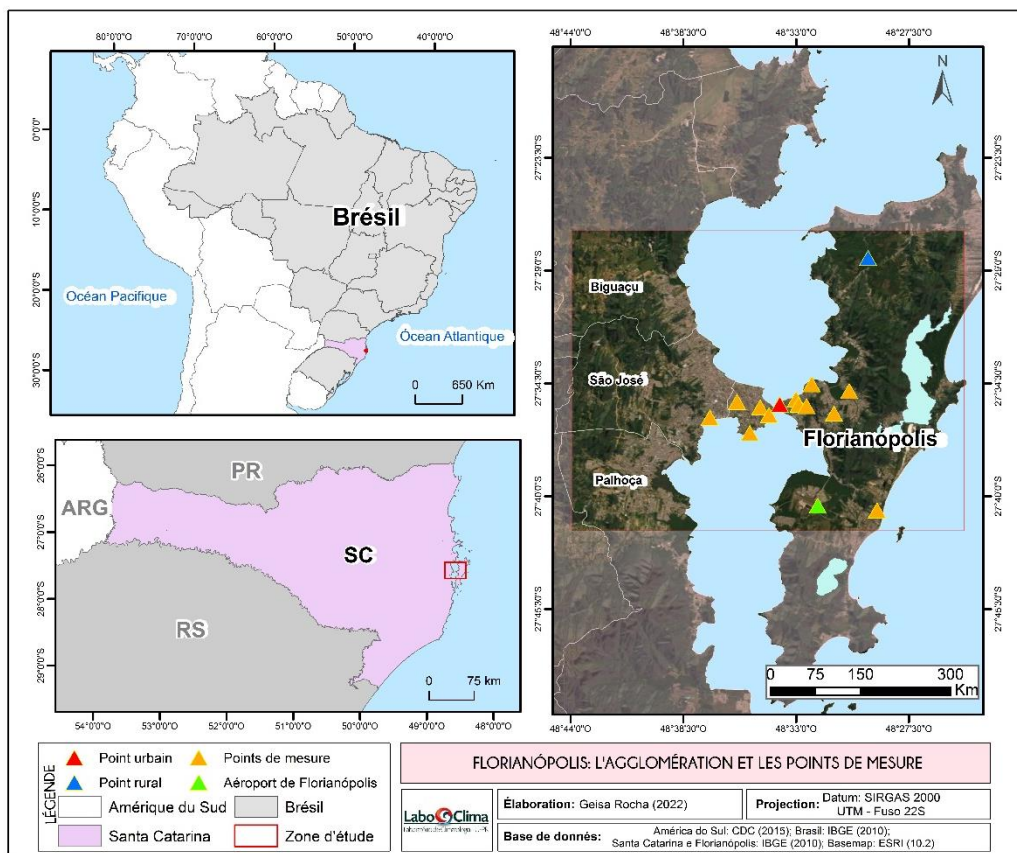


Figure 1. Localisation de la zone d'étude et des points de mesures météorologiques.

1. Données et méthodes

Un suivi des variables météorologiques a été effectué sur la période entre août 2018 et juillet 2019. Au total, il y avait 15 points de suivi de l'ICU, composés de six stations automatiques Davis Vue et cinq capteurs TinyTag, en plus des stations existantes appartenant à des organismes institutionnels (figure 1). Cinq points de mesure sont situés sur le continent et dix dans la partie insulaire de l'agglomération.

Pour déterminer l'intensité de l'ICU, deux stations de référence ont été choisies, l'une insérée dans un environnement majoritairement urbain (figure 1, en rouge) et l'autre en milieu rural (figure 1, en bleu) en tenant compte des facteurs locaux qui interfèrent avec le climat local (Rocha *et al.*, 2020, 2021). Les températures minimales journalières et horaires du point de référence rural ont été soustraites à celles du point urbain, c'est-à-dire : $\Delta T = T_n \text{ Urbain} - T_n \text{ Rural}$. L'échelle d'intensité ICU définie par Fernández García (1996) a été utilisée (tableau 1).

Tableau 1. Classification de l'intensité de l'ICU.

Classe	Intervalle d'intensité (°C)
Faible	0 à 2°C
Moyenne	2 à 4°C
Forte	4 à 6°C
Très forte	> 6°C

Pour les données de vent, la station météorologique de l'aéroport de Florianópolis (figure 1) a été utilisée car cette station est la plus éloignée des principaux obstacles qui pourraient modifier les flux de vent. Les données horaires utilisées sont les bulletins METAR avec la direction en degrés et la vitesse du vent convertie de nœuds (kt) en m/s.

Oke et Hannell (1970) ont proposé une équation pour calculer la vitesse critique du vent, c'est-à-dire la vitesse à partir de laquelle l'intensité de l'ICU diminuerait de façon significative. Pour la ville de Vancouver (Canada), par exemple, Oke (1976) a trouvé que cette valeur était d'environ 9 m/s. La vitesse critique du vent pour la zone d'étude a été calculée selon l'équation proposée par Oke et Hannell (1970) :

$$V_{cv} = 3,4 * \log P - 11,7$$

Où : V_{cv} est vitesse critique du vent ; P est la population de la zone d'étude, ici de 971 621 habitants, qui est l'estimation de la population en 2018 faite par l'Institut brésilien de géographie et de statistique. Pour la zone d'étude, la valeur de V_{cv} est donc de 8,8 m/s, valeur qui a été utilisée par la suite de l'étude comme seuil de vent fort.

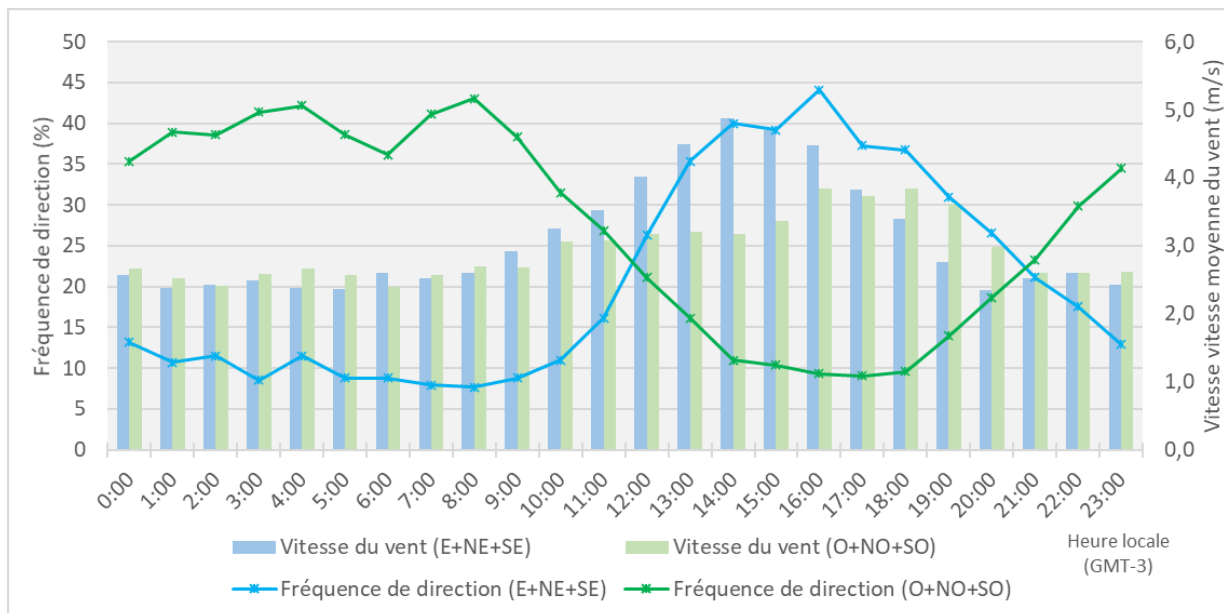
Considérant la localisation de la zone d'étude, côtière et insulaire, l'analyse des brises a été réalisée sur la base des flux, avec les données de l'aéroport. Nous avons considéré le regroupement des flux venant du quadrant est (du sud-est au nord-est) comme brise de mer et de l'ouest (du sud-ouest au nord-ouest) comme brise de terre.

2. Résultats

Il est important de souligner que la circulation de l'anticyclone semi-permanent de l'Atlantique Sud (ASAS) provoque la prévalence des directions des vents du nord-est/nord et de l'est pour la région sud du Brésil. Cependant, il a été observé que le vent prédominant pour la zone d'étude provenait du quadrant nord en raison de la position géographique, avec 30,6% des occurrences. La deuxième direction la plus fréquente était le sud, avec une fréquence de 15,5%, principalement liée au passage de fronts froids.

Concernant la vitesse, la période a été marquée par une fréquence plus élevée des vents entre 3,6 et 5,7 m/s, représentant 32,6% du total. Les enregistrements inférieurs à 0,5 m/s ont été classés comme calmes et représentaient 6,4% des observations.

L'analyse des flux de mer et de terre a montré que les vents d'est étaient plus fréquents le jour et ceux d'ouest la nuit, les courbes de fréquences des deux séries de données se croisant vers 13h et 22h heure locale (10 et 19 UTC) (figure 2). La brise de mer commence à se faire sentir à partir de 11h, devient plus



fréquente à 16h (44,1%), son action diminuant avec le début de la nuit.

Figure 2. Fréquence horaire (%) de la direction et de la vitesse du vent d'est et d'ouest pour l'aéroport de Florianópolis - d'août 2018 à juillet 2019.

En revanche, les vents venant de l'ouest, représentant la brise de terre, ont été plus fréquents à partir de 19h et se maintiennent au niveau de 35 à 45% des observations entre 1h et 9h du matin. Après l'aube (6h locale), ces flux deviennent moins dominants avant d'être remplacés par la brise de mer.

En termes de vitesse, les vents d'est ont été plus rapides que ceux venant de l'ouest, surtout pendant la journée où la brise de mer se cumule souvent avec l'alizé austral. Pour le flux d'est, la vitesse moyenne horaire la plus élevée a été enregistrée à 15h avec une moyenne de 5 m/s tandis que, pour le quadrant ouest, elle était de 3,1 m/s (figure 2). Les vitesses de vent moyennes les plus faibles se sont produites de 21 h à 6 h. Cependant, à 6h du matin, lorsque l'ICU est encore présent (figure 3), la fréquence des brises de terre (représenté par les flux de l'ouest) est supérieure à celle des flux venant de la mer, 31% contre 8,8%, (figure 2) indiquant une relation favorable entre les flux d'ouest et la formation de l'ICU dans cette période.

La moyenne de l'écart thermique horaire entre les points de référence urbains et ruraux a été calculée (figure 3), ce qui permet de constater qu'il existe une relation inverse entre l'intensité de l'ICU et la vitesse du vent (moyenne générale pour toutes les directions). Après le lever du soleil, à partir de 9h, le vent commence à dépasser 3 m/s, alors l'ICU, qui était au-dessus de 2°C les heures précédentes, diminue, ne revenant au même niveau qu'après 21h lorsque la vitesse du vent diminue.

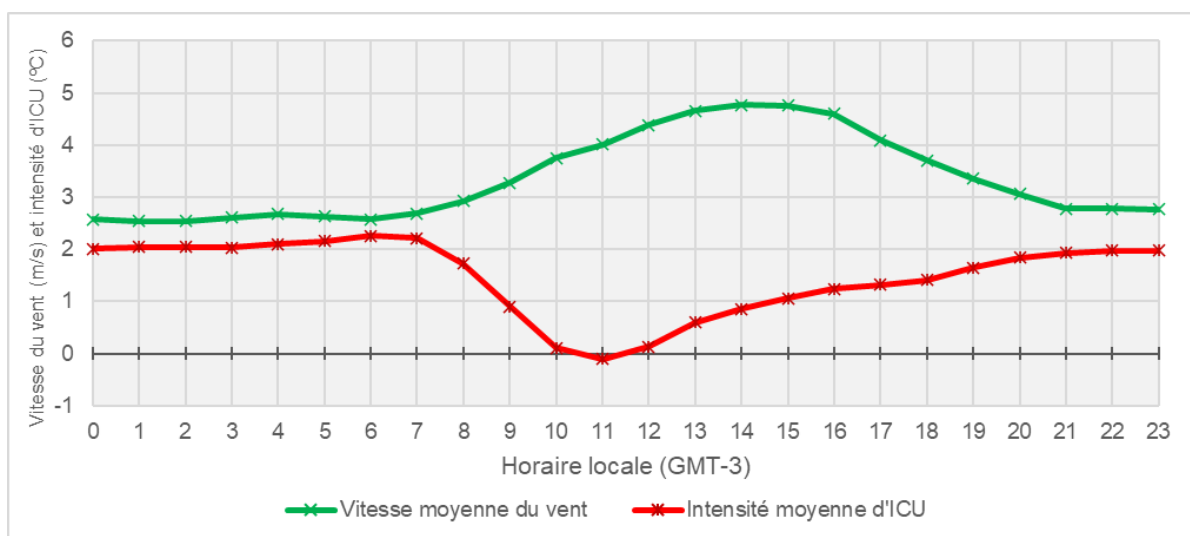


Figure 3. Moyennes de données horaires d'intensité de l'ICU et la vitesse du vent à l'aéroport de Florianópolis.

La corrélation statistique entre l'ICU et la vitesse du vent a été calculée : la valeur de $r = -0,26$ est très faible, mais indique que plus la vitesse du vent est élevée, plus la magnitude de l'ICU a tendance à être faible. Pour poursuivre l'analyse, la vitesse du vent a été représentée (figure 4) selon les classes d'intensité (tableau 1) de l'ICU horaire.

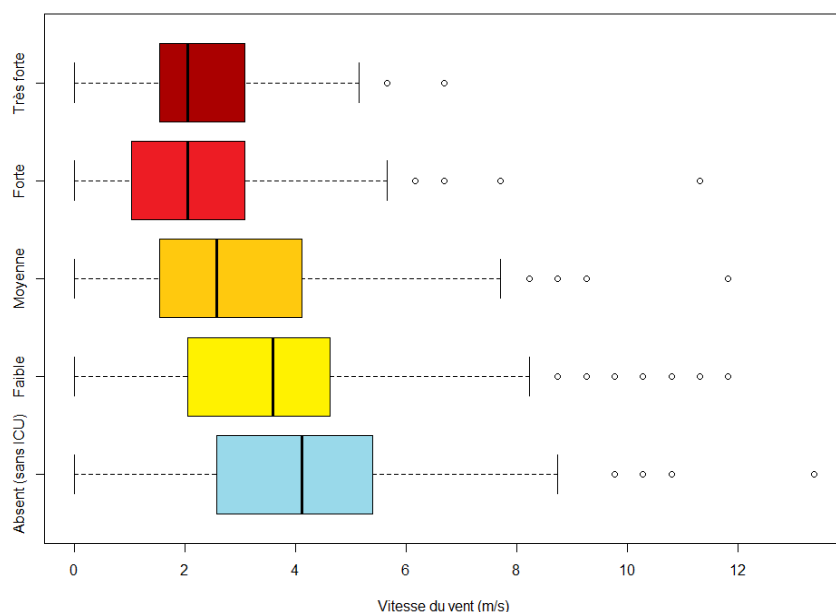


Figure 4. Boxplot de la vitesse du vent (m/s) selon les classes horaires d'intensité de l'ICU (°C) à Florianópolis.

La figure 5 confirme le lien entre les ICU de forte intensité et les flux en provenance de l'ouest et du nord-ouest, liés à l'action de la brise de terre. On observe pour la rose des vents de la classe ICU « très fort » que la plus grande partie des vents provient du nord-ouest, alors que pour les « faibles » ICU, par exemple, la même direction n'apparaît pas comme l'une des plus fréquentes. De même, les flux d'est sont pratiquement absents dans les occurrences des classes d'ICU fort et très fort.

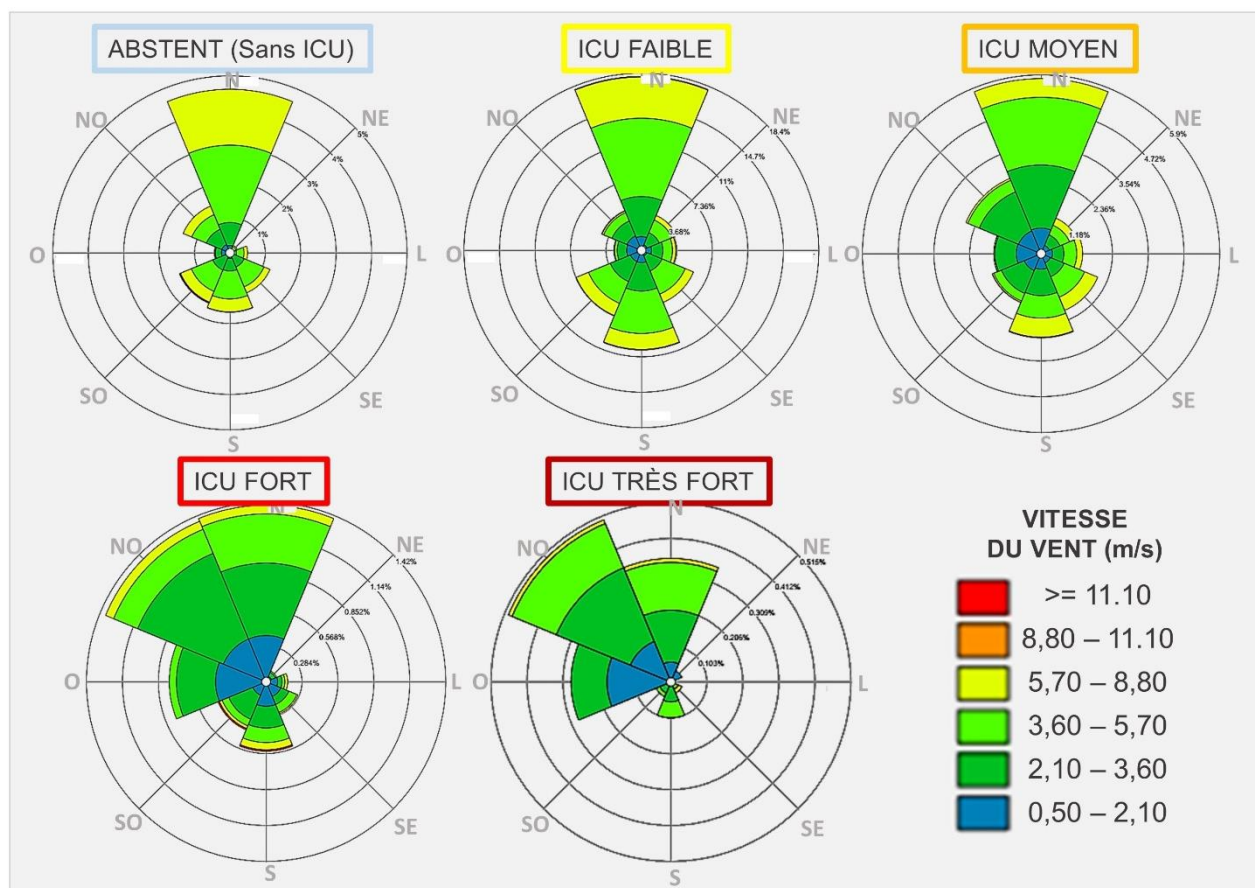


Figure 5. Direction et vitesse du vent (moyenne horaire à l'aéroport) selon les classes de magnitude de l'ICU horaire à Florianópolis.

On constate donc que la période d'action des brises de mer, généralement pendant la journée et avec des vents plus forts, entre autres facteurs tend également à ne pas favoriser la formation d'ICU. Souvent pendant cette période il n'y a pas d'ICU, et les contrastes entre urbain et rural sont même négatifs, indiquant la formation d'îlots de fraîcheur (Rocha *et al.* 2020, 2021). Pendant la nuit, avec l'inversion des flux et leur moindre intensité, l'ICU se forme et ne se dissipe que difficilement.

Conclusion

L'étude a révélé que l'ICU se forme dans toutes les directions de vent, cependant, comme elle est typiquement nocturne, elle finit par être favorisée par les flux de moindre vitesse et de direction nord-ouest, ouest et sud-ouest. Pendant la journée, la proximité de la mer et la dynamique des brises de mer se présentent comme des facteurs atténuant les écarts thermiques urbain/rural, mais pendant la nuit les conditions s'inversent et redeviennent favorables à la formation de l'ICU. Ainsi, plus la vitesse du vent augmente, plus les chances de produire une classe d'ICU forte et très forte sont faibles et inversement. Bien que la relation entre vent et ICU soient significatives, l'explication de la configuration de l'ICU dépasse l'analyse isolée des vents et il est nécessaire de considérer d'autres facteurs, comme les précipitations, la nébulosité et l'amplitude thermique. L'analyse de l'ICU nécessite ainsi une étude intégrée des facteurs qui provoquent sa formation, les brises n'en sont qu'une partie mais elles sont essentielles lorsque la zone d'étude est située sur la côte.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier la CAPES (Coordination de l'amélioration du personnel de niveau supérieur) pour la bourse de doctorat, EPAGRI-CIRAM pour les données de la station rurale ainsi que le Projet CAPES-COFECUB, CiCIAMEn, Sh 941/19 (Cities, Climate And vegetation: Modeling and Environmental public policies).

Bibliographie

- Anjos M.W.B. dos, 2017 : Orientações climáticas para o planejamento urbano numa cidade costeira do nordeste do Brasil: Aracaju-SE. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de Lisboa.
- Dubreuil V., Fante K.P., Planchon O. et Sant'Anna Neto J.L., 2018 : Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. *International Journal of Climatology*, **39**(3),1446-1456.
- Fernández García F., 1996 : *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid: Editorial síntesis, S.A., 285 p.
- Mendonça F., Dani-Oliveira I.M., 2007 : *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de textos.
- Oke T.R. et Hannell F.G., 1970 : The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *WMO Tech Note*, **108**, 113-126.
- Papanastasiou D.K., Melas D., Bartzanas T. et Kittas C., 2010 : Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze. *International Journal of Biometeorology*, **54**(3), 307-17.
- Rocha G.S., Dubreuil V. et Mendonça F.A., 2020 : Caractéristiques horaire et saisonnière de l'îlot de chaleur urbain de Florianópolis (sud du Brésil). *XXXIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 589-594.
- Rocha G.S., Dubreuil V. et Mendonça F.A., 2021 : La relation entre la stabilité atmosphérique (modèle PGT) et l'îlot de chaleur à Florianópolis (Brésil). *XXXIVe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 401-406.
- Rocha G.S., 2021 : *A ilha de calor entre mares : área conurbada de Florianópolis-SC*. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná.