

ANALYSE GÉOSTATISTIQUE DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DES PRÉCIPITATIONS SUR LE VERSANT SUD DU BASSIN DU FLEUVE PARANAPANEMA, DANS LE SUD DU BRÉSIL

CARMELLO V. ⁽¹⁾, DUBREUIL V. ⁽²⁾, SANT'ANNA NETO J L. ⁽³⁾

(1) Groupe de recherche GAIA - FCT/UNESP - Presidente Prudente, Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente, Brésil [viniciuscarmello@gmail.com]

(2) LETG-Rennes-COSTEL, UMR 6554 CNRS, Université Rennes 2, place Recteur Henri Le Moal, 35000 Rennes, France [vincendubreuil@uhb.fr]

(3) Groupe de recherche GAIA - FCT/UNESP - Presidente Prudente, Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente, Brésil [joaolima@fct.unesp.br]

Résumé – Le but de cette étude est d'analyser, à partir des années sèches (1999-2000) et pluvieuses (2009-2010), la répartition spatiale du total annuel de pluie par analyse géostatistique sur le versant sud du bassin du fleuve Paranapanema, dans le sud du Brésil. Pour la répartition spatiale, nous avons utilisé les données mensuelles des précipitations de quarante-neuf stations climatiques. L'interpolateur utilisé dans cette étude correspond au krigeage qui est un processus d'estimation des valeurs de variables réparties dans l'espace et/ou le temps. Pour la modélisation, nous avons considéré les variables nugget, range, et sill ainsi que le semi-variogramme. Les résultats montrent que, dans cette région: l'année agricole 2009-2010 a connu les valeurs les plus élevées de précipitations, atteignant un volume de 1.776 mm dans la partie orientale du bassin et la valeur la plus basse était de 1.047 mm dans la partie sud-est du bassin. Les plus faibles valeurs mesurées pendant l'année agricole 1999-2000 étaient de 477 mm et les valeurs les plus élevées étaient autour de 1.153 mm observées dans l'est et près de la partie nord de l'intérieur.

Mots-clés : pluie; variabilité interannuelle; Sud du Brésil; Paranapanema

Abstract – Geostatistics analysis applied to precipitation spatial distribution on the southern slope of Paranapanema river basin in southern Brazil. This study aims to analyze, from dry (1999-2000) and rainy (2009-2010) years, the rain spatial distribution by geostatistical analysis on the southern slope of Paranapanema river basin, southern Brazil. For the spatial distribution, we used the monthly data of precipitation in eighty-nine weather stations and geostatistical analysis procedures from two software: Arcgis and Variowin. The Kriging is a variable value estimation process, which are distributed in space and / or time. For modeling, we considered the variables nugget, range, sill and the semi-variograms generated by the model application. This technique shows the following results: the agricultural year 2009-2010 had the highest rainfall values, reaching a volume as high as 1.776 mm in the basin eastern and the lowest value was 1.047 mm in the southeast. The lowest values measured during the agricultural year 1999-2000 was 477 mm and the highest values were observed around 1.153 mm in the east and near the northern part of the basin.

Keywords: rainfall, variability, South of Brazil, Paranapanema.

Introduction

En raison de sa localisation dans le sud du Brésil, l'Etat du Paraná est sous l'influence de caractéristiques climatiques particulières, car c'est une zone de transition climatique entre celles à prédominance tropicale et subtropicale. Dans ce contexte climatique, la variabilité est importante et, par conséquent, peu prévisible. L'économie de cette région a une forte relation avec l'agriculture, ainsi, aussi bien les cultures d'été (le soja et le maïs) que celles d'hiver (le blé et le maïs d'hiver) dépendent d'un régime pluviométrique bien précis. L'irrégularité des précipitations oblige, par exemple, les grands propriétaires terriens à investir dans des techniques innovatrices de gestion, alors que les petits agriculteurs restent à la merci des variations du régime des pluies (Sant'Anna Neto, 1994, 2005 ; Almeida & Sant'Anna Neto, 2007).

Dans ce contexte géographique d'interactions entre l'agriculture et la climatologie, notre objectif est d'analyser, à l'aide de la géostatistique et des techniques d'interpolation, la distribution spatiale du total cumulé des pluies entre les mois pluvieux (entre octobre et avril) des années 1999-2000 jusqu'en 2009-2010 sur le versant paranaense du bassin du fleuve Paranapanema pour des années aux caractéristiques pluviométriques contrastées (extrêmement sèches et extrêmement pluvieuses).

1. Le contexte climatique de la région d'étude

La variabilité des précipitations dans l'Etat du Paraná et, par conséquent, sur le versant paranaense du bassin du fleuve Paranapanema (Fig. 1) est essentiellement déterminée par l'intensité des Hautes pressions Subtropicales, par les masses d'air polaire froid et sec originaires du sud, par les masses d'air chaud et humide provenant de l'Amazonie et de l'océan Atlantique et par les masses d'air chaud et sec de l'intérieur du continent sud-américain. Dans ce contexte régional, la variabilité temporelle des pluies est le résultat des interactions à grande échelle des systèmes liés à la Zone de Convergence de l'Atlantique Sud (ZCAS), des systèmes de dépressions extratropicales et des systèmes convectifs de méso-échelle (SCM) (Nascimento Junior *et al.*, 2014; Mendonça, 2000, Souza, 2006; Grimm, 2009). La zone d'étude couvre environ 55.000 km² avec des altitudes qui varient de 223 m à 1.356 m.

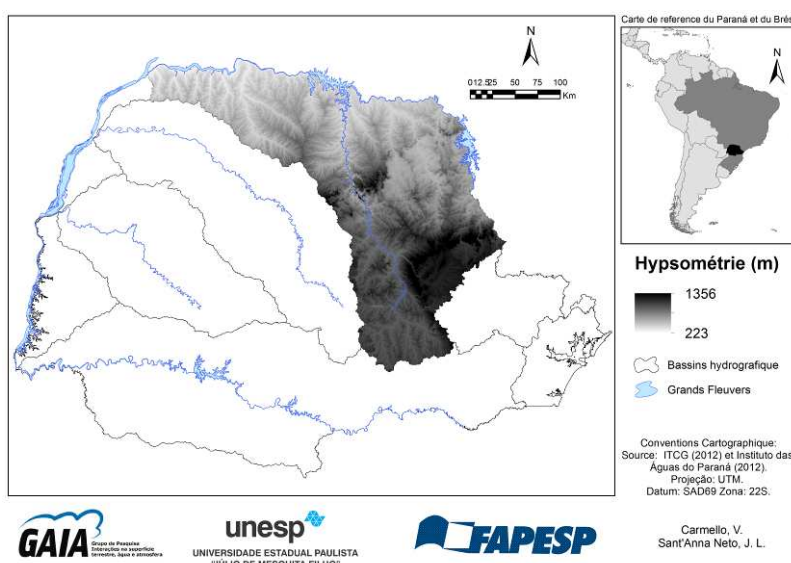


Figure 1. La région du versant sud du fleuve Paranapanema

2. L'analyse géostatistique comme contribution à l'étude du climat

La géostatistique est une science relativement nouvelle, dérivée de la statistique appliquée, qui traite de problèmes liés aux variables régionalisées. En géostatistique, la variable régionalisée est une variable que l'on observe dans l'espace (ou le temps) et qui fait partie d'une population multivariée, où ses valeurs peuvent entrer en corrélation avec les coordonnées de l'espace (ou du temps). Ce type de procédure est important pour estimer les valeurs de lieux non échantillonnés, en se basant sur des valeurs de données observées dans des lieux connus comme par exemple pour la pluie ou pour la température de l'air (Bicudo & Bicudo, 2004 ; Mazzini & Schettini, 2009 ; Bittencourt *et al.*, 2013 ; Burrough, 1986 ; Dubreuil *et al.*, 2002).

3. Méthodologie pour l'interpolation spatiale appliquée aux données de pluviométrie

3.1. Le choix des stations et des données de précipitations

Les données quotidiennes de précipitations ont été obtenues auprès de l'Institut de l'eau du Paraná. Cent cinquante-quatre stations ont pu être étudiées, avec une assez bonne répartition dans toute la région d'étude. Un premier travail a consisté à vérifier la cohérence des données, ce qui a permis de vérifier que toutes les stations ne présentaient pas une série de données complète. Ainsi, finalement, nous avons retenu les données de précipitations de quatre-vingt-neuf stations. La période étudiée va de 1999 à 2010, et les données ne concernent que la saison de culture du soja de chaque année, d'octobre à avril (Carmello, 2013 ; Carmello *et al.*, 2014).

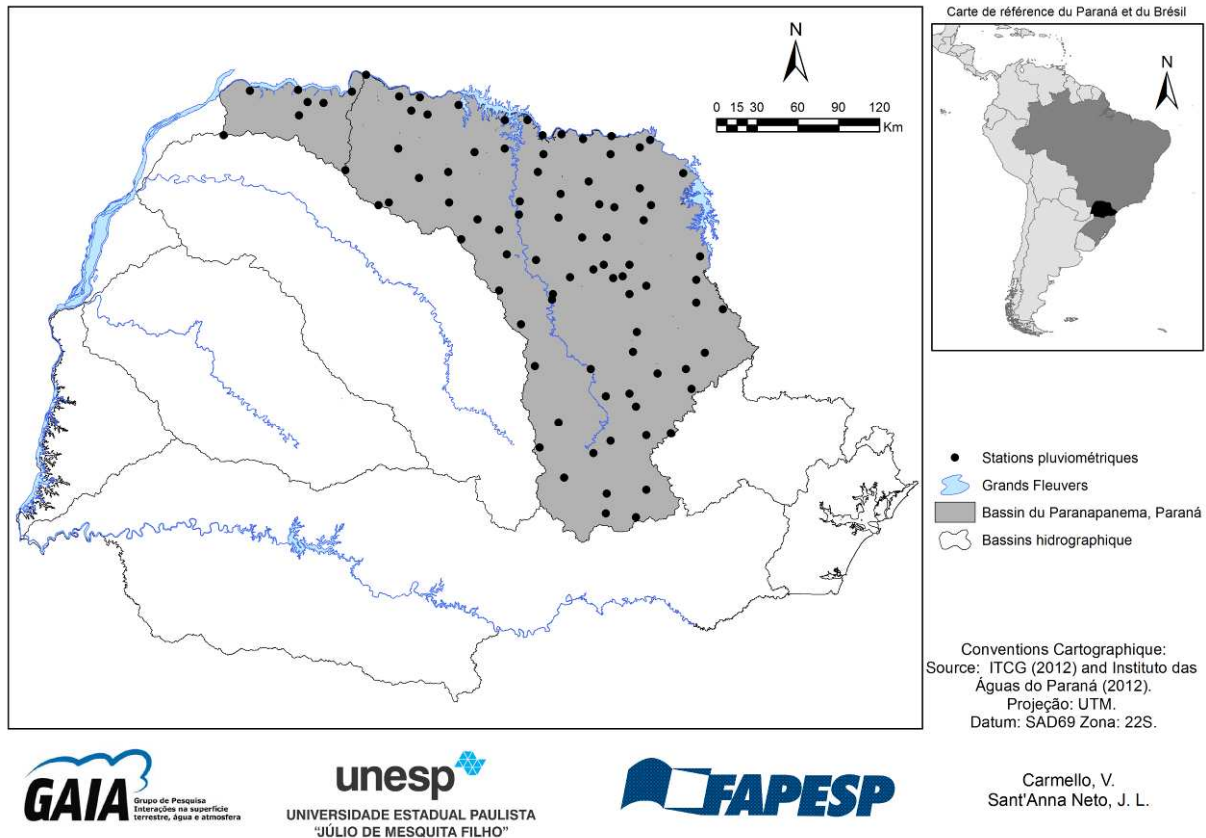


Figure 2. Répartition des quatre-vingt-neuf stations pluviométriques sur le bassin

3.2. Spatialisation/modélisation des valeurs des précipitations

La première étape dans toute étude spatiale est la définition de la conception expérimentale, ce qui implique le choix de la technique de collecte d'échantillons ainsi que la maille d'échantillonnage. Dans cette étude, les mailles d'échantillonnage peuvent être considérées de type aléatoire, et la répartition des points de collecte est aussi aléatoire (Landim *et al.*, 2002). Nous avons utilisé la géostatistique analytique du logiciel ArcGIS et du logiciel géostatistique Variowin. Quant à la nature de l'interpolation, il faut, tout d'abord, souligner qu'interpoler est prévoir (ou estimer) la valeur de la variable étudiée sur un point non échantillonné. Pour interpoler les données de précipitations, il a été nécessaire de construire une maille impliquant l'ensemble des points d'échantillonnage, considérant

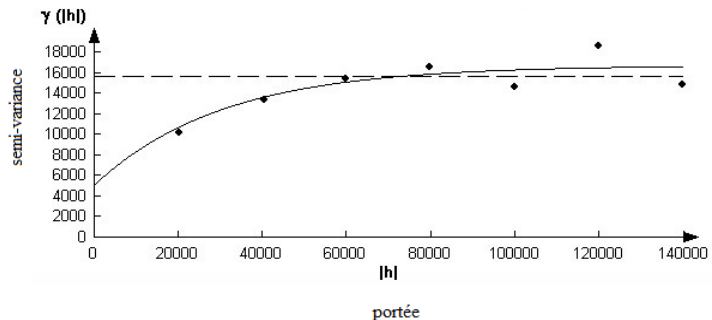


Figure 3. Semivariogramme exponentiel pour les totaux annuels de l'année agricole 1999-2000

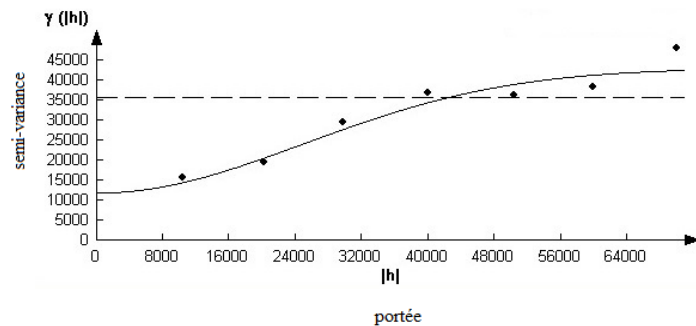


Figure 4. Semivariogramme gaussien pour les totaux annuels de l'année agricole 2009-2010

que les interpolateurs se distribuent en (1) globaux ou locaux; (2) exacts ; et (3) déterministes ou stochastiques (Landim *et al.*, 2002 ; Sadosky 1980 *apud* Mazzini & Schettini, 2009 ; Mazzini & Schettini, 2009). L'interpolateur utilisé dans cette étude correspond au krigeage utilisé par la géostatistique pour effectuer l'interpolation des données d'information, ce qui, dans de nombreux cas, est un avantage majeur par rapport aux autres méthodes. Il s'agit d'un processus d'estimation de valeurs de variables distribuées dans l'espace et/ou dans le temps, à partir de valeurs adjacentes considérées comme interdépendantes par le semivariogramme (Fig. 3 et 4) (Bittencourt *et al.*, 2013 ; Mazzini & Schettini, 2009 ; Landim, 2002 *apud* Jacomo, 2011 ; Camargo, 1997 *apud* Jacomo, 2011). Pour la modélisation, nous avons considéré les valeurs de nugget (effet pépite), range (plage), sill (seuil), à partir des modèles générés dans l'application modèle. Pour la spatialisation, nous avons utilisé les coordonnées des points (stations pluviométriques) et des valeurs de la variable (données), où l'on peut obtenir une carte de la distribution spatiale, en utilisant l'algorithme d'interpolation déjà mentionné (Landim, *et al.*, 2002).

4. La distribution spatiale des précipitations sur le bassin

Les périodes de sécheresse pendant la récolte sont l'un des principaux phénomènes responsables de l'insécurité des activités agricoles. Il s'agit de déficits hydriques prolongés, où l'ensemble des processus physiologiques des plantes sont ralentis (germination, transpiration stomatique, photosynthèse, fixation de l'azote, etc. (Marengo, 2009 ; Castro *et al.*, 2008 ; Nepomuceno *et al.*, 1993 ; Koslowski, 1968). Cependant, il ne faut pas lier la diminution du total de précipitations, comme cela est arrivé en 1999-2000, strictement au phénomène de la sécheresse. Dans ce contexte spatial, les périodes de sécheresse et les périodes de sécheresse localisées sont fréquentes et celles-ci peuvent, en effet, compromettre le résultat final des récoltes de cultures saisonnières. Les résultats relatifs à la spatialisation de l'année 1999-2000 ont montré une forte variabilité spatiale en raison de l'effet pépite. On remarque que la saison des pluies sur l'année agricole 1999-2000 par rapport à la même période de 2009-2010 est marquée par la diminution des enregistrements de précipitations. Les valeurs les plus basses enregistrées pendant l'année agricole 1999-2000 se situaient entre 477 et 601 mm dans des stations de l'est et du sud. Les valeurs les plus élevées se situaient entre 1.153 et 1.256 mm à l'ouest et au nord-ouest (Fig. 5).

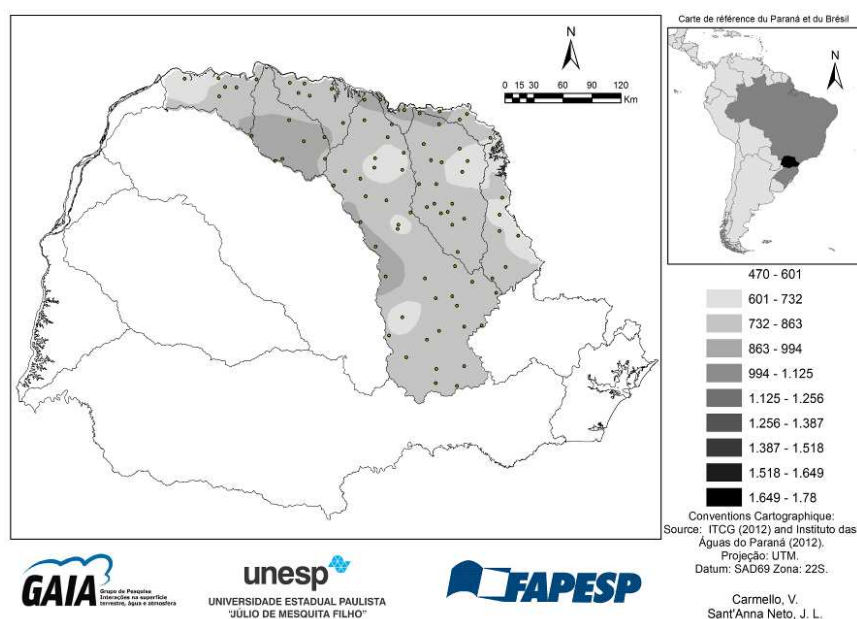


Figure 3. Résultats de la distribution spatiale des totaux annuels de la pluviométrie 1999-2000

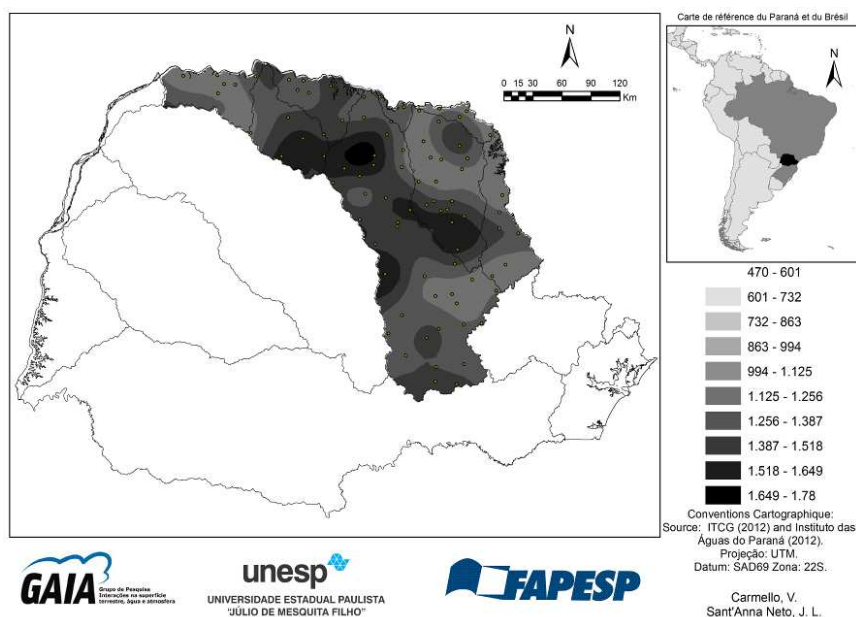


Figure 6. Résultats de la distribution spatiale des totaux annuels de la pluviométrie 2009-2010

L'année agricole 2009-2010 (Fig. 6) a présenté les valeurs les plus élevées de précipitations, avec des enregistrements compris entre 1.649 et 1.780 mm dans les stations situées dans les parties orientale et centrale du bassin. Les valeurs les plus basses enregistrées ont été de 1.047 à 1.256 mm pour les stations situées dans la partie sud et nord-est du bassin. Du fait d'être considérée comme une région de climat de transition, on peut dire qu'il existe une moyenne dans la distribution spatiale des données pluviométriques les plus élevées sur les deux années, en particulier là où il y a une prédominance des caractéristiques tropicales (stations pluviométriques localisées dans la partie nord du bassin). De plus, on peut voir que les valeurs relatives à l'année sèche ont présenté une variation plus marquée entre les données par rapport à l'année pluvieuse. Au cours de l'année sèche les valeurs sont comprises entre 470 et 1.200mm, avec un coefficient de variation de 15%. Au cours de l'année pluvieuse, le coefficient de variation n'est que de 13% (avec des valeurs comprises entre 1.000 et 1.800 mm).

Conclusion

La variabilité des précipitations est un facteur important lorsque l'on considère la dépendance de l'agriculture aux standards habituels et aux rythmes de l'environnement physique. Les précipitations maximum enregistrées au cours de l'année 1999-2000 ont été de 1.153 à 1.256 mm, soit des valeurs comparables aux minimales de pluie enregistrées en 2009-2010 (1.047 à 1.256 mm). Il est ainsi important d'observer les différences inter et intra-annuelles, dans le premier cas, avec une tendance à la sécheresse, et le deuxième, avec une tendance pluvieuse.

Nous avons opté en faveur de la représentation spatiale de ces résultats à l'aide de la géostatistique et de la procédure d'interpolation en utilisant la méthode du krigeage à partir d'un interpolateur stochastique. Cependant, on peut conclure qu'il existe des limites quant à leur utilisation car on ne prend en considération que la variable pluie, sans tenir compte, par exemple, du relief, un composant important dans la compréhension de la genèse et des moyennes pluviométriques dans une région donnée.

Références bibliographiques

- Almeida I. R., Sant'Anna Neto, J. L., 2007 : The variability in precipitation and the expansion of soybean crop in Brazil: possible scenarios and the hypothesis of climatic changes. Dias. P. L. S: *A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America*, São Paulo, 121 -150.
- Bicudo, C.E. M., Bicudo, D. C., 2004 : Amostragem em limnologia, *Rima*, São Carlos, 371 p.
- Bittencourt F., Mantovani E. C., Sediyaama G. C., Santos N. T., 2013 : Distribuição espacial da chuva em fazendas de soja e algodão no extremo oeste da Bahia. *III Simpósio de geoestatística aplicada em ciências agrárias*, 1 – 6.
- Burrough, P.A, 1986 : Principals of geographical information systems for land resources assessment. *Oxford, Clarendon Press*, 194 p.
- Carmello V., Sant'Anna Neto, J. L., Dubreuil, V., 2014 : Variabilité des précipitations et rendements du soja en région de climat de transition, *XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, **1**, 279 -284.
- Carmello V., 2013 : Análise da variabilidade das chuvas e sua relação com a produtividade da soja na vertente paranaense da bacia do Paranapanema. *Mémorial de master en géographie*, Presidente Prudente, 123 p.
- Castro P.R.C., Kluge R.A., Sestari I., 2008 : Manual de Fisiologia Vegetal. Editora Agronômica CERES, 640 p.
- Dubreuil V., Montgobert M., Planchon O., 2002 : Une méthode d'interpolation des températures de l'air en Bretagne : combinaison des paramètres géographiques et des mesures infrarouge NOAA-AVHRR ; *Hommes et Terres du Nord* , **1**, 26-39 p.
- Grimm A.M., 2009 : Clima da região sul do Brasil. In: Cavalcanti I.F.A., Ferreira N.J., Silva M.G.A.J., Dias M.A.F.S (Orgs). *Tempo e Clima no Brasil*, 1ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 259 p.
- Instituto das Águas do Paraná., 2012 : Dados da rede de postos pluviométricos do Paraná. Águas Paraná. Governo do Estado do Paraná.
- Jácomo C. A., 2011 : Modelos geoestatísticos espaço tempo aplicados a dados pluviométricos no oeste do estado de São Paulo. *Mémoire de Master en géographie*, Presidente Prudente, 109 p.
- Kozlowski T.T., 1968 : Introduction. In Kozlowski T.T., 1968: Water deficits and plant growth. Academic Press, 1-20.
- Landim P. M. B., Monteiro R. C., Corsi A. C., 2002 : Introdução a confecção de mapas pelo software SURFER. Rio Claro, 21 p.
- Mazzini P. L. F., Schettini C. A. F., 2009 : Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. *Brazilian Journal of Aquat. Sci. Technology*, **13**, 53-64.
- Meisner B.N., 1976 : A study of Hawaiian and line island rainfall. Honolulu, University of Hawaii, *Rep.UHMET*, Dept. Meteor, 83 p.
- Mendonça F., 2000 : Tipologia climática – Gênese, características e tendência. Stipp N.A.F. *et al.* (Org.) *Macrozoneamento da bacia hidrográfica do rio Tibagi/PR*. Londrina: Editora UEL, 63-68.
- Marengo J.A., 2009 : Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – impactos sociais e econômicos. *Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas – GPMC*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Centro De Ciências Do Sistema Terrestre – CCST. **8**, 5 p.
- Nascimento Júnior, L., Sant'Anna Neto, J. L., Dubreuil, V., 2014 : La sécheresse dans l'état du Parana (Brésil) : observation et suivi par télédétection. *XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, **1**, 60 – 66.
- Nepomuceno A.L., Farias J.R.B., Neumaier N., 1993b : Respostas fisiológicas de cultivares de soja a disponibilidade hídrica no solo. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, São Carlos, **5**(1), 57.
- Sant'Anna Neto J.L., 1990 : Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista. *Mémoire de Master en géographie*, São Paulo, 120 p.
- Sant'Anna Neto J.L., 1994 : Dinâmica Atmosférica e o caráter transicional do clima na Zona Costeira Paulista. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, **8**, 35- 49.
- Sant'Anna Neto J. L., 2005 : Decálogo da climatologia do Sudeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Climatologia*. Presidente Prudente. **1**, 43 - 60.
- Souza P., 2006 : Estudo da variabilidade da precipitação no estado do Paraná associado à anomalia da TSM no Oceano Pacífico. *Mémorial de master en géographie*. Maringá, 72 p.