

## EFEITOS DE UM CICLONE EXTRATROPICAL NA BIOMASSA DE ÁRVORES EM FRAGMENTOS DE FLORESTA COM ARAUCÁRIA

### EFFECTS OF AN EXTRATROPICAL CYCLONE ON THE BIOMASS OF TREES IN ARAUCARIA FOREST FRAGMENTS

Dieter Liebsch<sup>1</sup>, Tomaz Longhi-Santos<sup>2</sup>, Franklin Galvão<sup>3</sup>, Sandra Bos Mikich<sup>4</sup>,  
Marcia Cristina Mendes Marques<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 5</sup> Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – [dieterliebsch@yahoo.com.br](mailto:dieterliebsch@yahoo.com.br),  
[tomazlonghi@gmail.com](mailto:tomazlonghi@gmail.com), [fgalvao@ufpr.br](mailto:fgalvao@ufpr.br) & [marciaguanandi@gmail.com](mailto:marciaguanandi@gmail.com)

<sup>4</sup> Embrapa Florestas, Colombo, Paraná, Brasil – [sandra.mikich@embrapa.br](mailto:sandra.mikich@embrapa.br)

#### RESUMO

Distúrbios naturais causados pela intensificação dos efeitos das mudanças climáticas são cada vez mais comuns nas regiões subtropicais do Sul do Brasil. Procuramos quantificar a perda de biomassa aérea em fragmentos de Floresta com Araucária atingidos pela passagem de um ciclone extratropical e analisar como a dinâmica do recrutamento pode contribuir para recuperação da biomassa. Em 2009 foram alocadas 116 parcelas de 10 m x 20 m, nas quais foram amostrados todos os indivíduos arbóreos com DAP > 4,8 cm. Neste mesmo ano, parte das parcelas foi atingida por um ciclone extratropical. Em 2014 e 2016 as parcelas foram novamente amostradas. A biomassa foi definida com uso equação específica, tanto para os indivíduos remanescentes, como para recrutados. Verificou-se uma redução significativa da biomassa nas parcelas afetadas pelo ciclone, assim como maior ganho de biomassa dos indivíduos recrutados para essas áreas. Passados sete anos da ocorrência do ciclone, as parcelas afetadas não recuperaram a biomassa a níveis pré-ciclone. A intensificação de eventos climáticos extremos para região subtropical do continente Sul-americano é preocupante e traz uma nova questão a ser avaliada em estudos futuros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Distúrbio, Mortalidade, Mudanças climáticas, Sucessão secundária.

#### ABSTRACT

Natural disturbances caused by the intensification of climate change effects are becoming increasingly common in subtropical regions of Southern Brazil. We quantified aboveground biomass loss in Araucaria Forest fragments affected by the passage of an extratropical cyclone and analysed how recruitment dynamics can contribute with biomass recovery. In 2009 we set 116 (10 m x 20 m) plots in which we surveyed all arboreal individuals with a DBH > 4.8 cm. In the same year, part of the plots was hit by an extratropical cyclone. In 2014 and 2015 the plots were surveyed again. Biomass was defined using a specific equation, for both remaining and recruited individuals. We verified a significant loss in biomass in the plots affected by the cyclone, as well as a higher gain in biomass of the individuals recruited in these areas. Seven years after the cyclone passage, the affected plots did not recover to pre-cyclone levels of biomass. The intensification of extreme climate events in the South American subtropical region is alarming and it brings a new question to be assessed in future studies.

**KEY WORDS:** Disturbance, Mortality, Climate change, Secondary succession.

## INTRODUÇÃO

O aumento da intensidade e frequência de ocorrência de eventos climáticos extremos (GOLDENBERG *et al.*, 2001; EMANUEL, 2005; KHARIN *et al.*, 2013; ALEXANDER *et al.*, 2015) pode ser interpretado como uma resposta a intensificação dos efeitos do aquecimento global, com reflexos diretos na temperatura do ar e regime de chuvas em todo o mundo (IPCC 2013). O principal causador de tais efeitos é o aumento na concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, principalmente pelo uso de combustíveis fósseis e mudanças de uso e ocupação do solo.

Os danos causados por ciclones podem ser devastadores (XI, 2015). Em áreas florestais, o impacto destes eventos resulta numa perda eventual de biomassa, relacionada com a mortalidade de indivíduos arbóreos (KRANKINA & HARMON, 1995). Esses eventos são estocásticos e podem desencadear uma série de mudanças na comunidade, alterando suas taxas de crescimento. Essas podem ser resposta a diversos fatores, como características da espécie (crescimento lento), intensidade da competição por recursos, processos de sucessão (CHAZDON *et al.*, 2007; BUGMANN & BIGLER, 2011; MANUSCH *et al.*, 2013).

A biomassa pode ser definida como a massa da matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (SANQUETTA, 2002). Para as árvores, ela está distribuída em todas as porções dos indivíduos. Porém, a maior parte da biomassa aérea está contida no fuste (SOARES *et al.*, 2006). Como grande parte da biomassa de uma floresta é constituída por compostos de carbono (WATZLAWICK *et al.*, 2004), a quantificação de biomassa constitui a base para o conhecimento indireto do estoque de carbono (VOGEL *et al.*, 2006).

Com a mortalidade de árvores, a biomassa estocada, principalmente nos fustes, tende a ser disponibilizada para o ambiente por meio da decomposição. A decomposição da necromassa (matéria orgânica) em grandes quantidades, pode contribuir com a emissão gases do efeito estufa. Neste processo, a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera é muito mais rápida que a recuperação da biomassa (CHAMBERS *et al.*, 2004).

A Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária faz parte do Bioma Mata Atlântica e recobre de forma contínua parte significativa dos estados do Sul do Brasil, além de áreas disjuntas no Sudeste, sempre em regiões de maior altitude e frias dos planaltos (DUARTE *et al.*, 2014; KERSTEN *et al.*, 2015; REZENDE *et al.*, 2015). Nessas regiões, eventos climáticos de grandes proporções são

incomuns, porém, tornaram-se mais frequentes nas últimas décadas (MARCELINO *et al.*, 2009; LIMA & LOREDO-SOUZA, 2015), o que reforça a necessidade de estudos avaliando danos desses eventos sobre as comunidades florestais.

No presente trabalho, avaliamos a biomassa de fragmentos afetados por um ciclone extratropical, procurando responder as seguintes perguntas: 1) De que forma a passagem do ciclone pode alterar a biomassa aérea? 2) Como a dinâmica do recrutamento pode contribuir para biomassa após a passagem do ciclone?

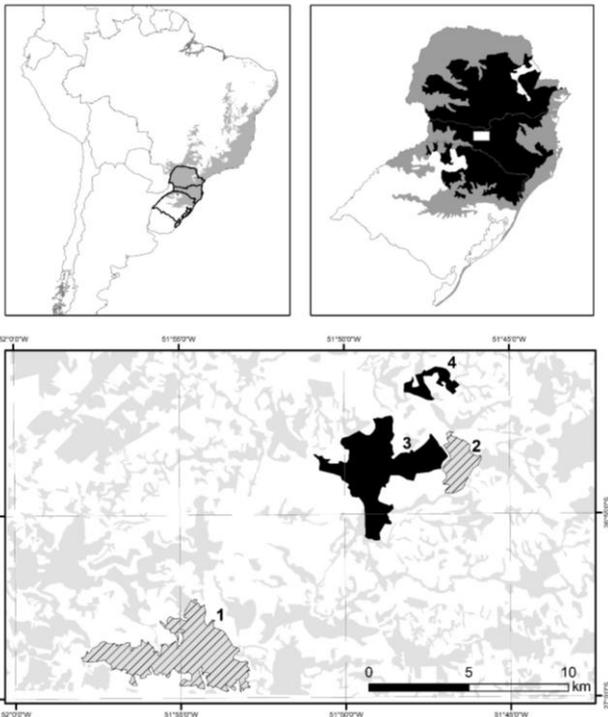
## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em três fragmentos florestais localizados na região oeste de Santa Catarina, Sul do Brasil, localizadas entre as coordenadas geográfica 26°50' e 27°02' S e 51°45' e 51°57' W, em altitudes que variam de 1.000 a 1.100 m (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb. A umidade relativa do ar varia entre 76-80% e a precipitação média anual é de 1.815 mm, bem distribuída ao longo do ano. A temperatura média anual é de 17°C, com ocorrência frequente de geadas no período do inverno (REZENDE *et al.*, 2015). A região encontra-se, geologicamente, na formação Serra Geral, que é constituída por rochas vulcânicas basálticas, onde predominam três tipos de solos: Cambissolo, Nitossolo e Latossolo.

Em 8 de setembro de 2009, parte da área de estudo foi atingida por um ciclone extratropical com intensa precipitação e ventos entre 80 a 100 km/h. Esse evento, que pode ser considerado de média a grande intensidade, criou um mosaico de áreas com e sem efeitos de sua passagem.

O fragmento 1, não atingido pelo ciclone, possui aproximadamente 1.500 ha (Figura 1) e está 10 km distante dos demais fragmentos. Os fragmentos 2 e 3 são partes de um mesmo bloco com 1.700 hectares, porém, uma porção foi atingida pelo ciclone (2) e outra não (3). O terceiro fragmento possui 200 ha e foi totalmente afetado pela passagem do ciclone (4).

Entre janeiro e julho de 2009 (T0), foram instaladas 116 parcelas permanentes de 200 m<sup>2</sup> (20 m x 10 m), totalizando 2,32 ha, nos três fragmentos. Do total de parcelas, 56 foram atingidas pelo ciclone (CC) que ocorreu em setembro daquele mesmo ano, enquanto 60 não o foram (SC).



**Figura 1.** Localização da área de estudo. (a) localização do Bioma Mata Atlântica, (b) e da Floresta com Araucária, com destaque (branco) para a região de estudo, (c) fragmentos estudados, sem passagem do ciclone (em preto; 1 e 2) e com ciclone (hachurado; 3 e 4). Áreas em cinza são fragmentos florestais e áreas em branco são desflorestadas ou plantios de espécies exóticas.

Em 2009 (T0), todas as árvores com DAP  $\geq 4,8$  cm foram amostradas, identificadas e tiveram o seu DAP medido. Em agosto de 2014 (T1) e em setembro de 2016 (T2), respectivamente cinco e sete anos após a passagem do ciclone, as mesmas parcelas foram amostradas. Novos indivíduos foram tratados como recrutados e os indivíduos mortos em pé ou caídos, ou que não foram encontradas em levantamentos subsequentes foram considerados mortos, segundo proposto por Marques et al. (2009).

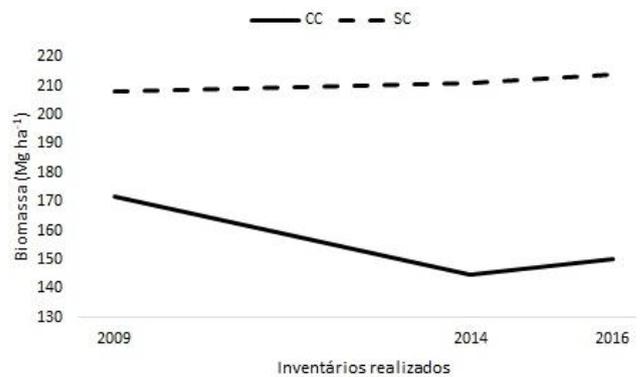
A partir dos diâmetros medidos nas avaliações T0, T1 e T2, a biomassa total (BT) foi estimada ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) com base no modelo alométrico proposto por Zanette (2017), para regiões de FOM no PR, similares à área de estudo. Foi calculada a biomassa média por parcela nos três tempos avaliados, sendo que a perda de biomassa é dada pela mortalidade dos indivíduos arbóreos. Já o ganho de biomassa (GB) se deu pelo recrutamento de novos indivíduos que passaram a fazer parte da comunidade arbórea, por atingir o valor mínimo de DAP. Para a perda e para o ganho de biomassa foram realizados uma análise de variância entre a média de BT e GB entre cada tratamento

e período (ZAR, 2010). As análises foram realizadas com o programa Statgraphics Centurion XVI.

## RESULTADOS

### Biomassa total

A biomassa total medida nos três inventários indica uma tendência ao aumento gradual nas áreas não impactadas pelo ciclone (Figura 2). Para áreas com ciclone observa-se uma recuperação ao longo dos anos, após queda de árvores causada pelo evento em 2009. Para áreas com ciclone, a biomassa dos indivíduos remanescentes e recrutadas não foi suficiente para, em sete anos, retornar a níveis anteriores ao ciclone (Figura 2).



**Figura 2.** Evolução da biomassa total nos tratamentos com e sem ciclone ao longo dos anos.

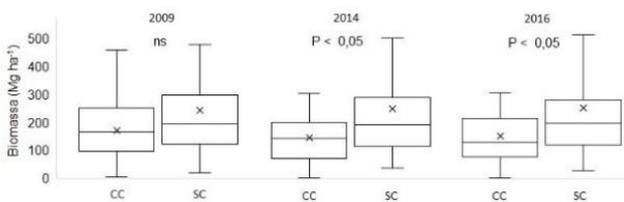
Estudos tem demonstrado que essa recuperação depende de uma série de fatores, desde características de cada espécie, como a longevidade e velocidade de crescimento, alocação de recursos etc. (BUGMANN & BIGLER, 2011; MANUSCH et al., 2013), ou, ainda, a fatores relacionados a comunidades, como a competição por recursos (CHAZDON et al., 2007).

### Biomassa entre tratamentos

A ocorrência de ciclone extratropical resultou na disponibilização de uma grande quantidade do carbono que estava estocado para o ambiente. Por outro lado, permitiu que nos fragmentos impactados, ocorresse um aumento nas taxas de recrutamento e maior produção de biomassa.

Houve uma redução significativa na biomassa das parcelas atingidas pela passagem do ciclone (Figura 3). Em 2009, previamente ao ciclone, nos dois conjuntos considerados, com ciclone ( $172 \pm 13 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e sem ciclone ( $208 \pm 14 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), não houve diferença significativa

( $t = 3,21$ ;  $p$ -valor = 0,07). Em 2014 (após o ciclone), as áreas apresentaram diferenças significativas em relação à biomassa ( $t = 10,97$ ;  $p$ -valor = 0,001), sendo maior nas áreas sem ciclone ( $211 \pm 14$ ) em comparação com as áreas com ciclone ( $145 \pm 14 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). O mesmo ocorreu em 2016, mantendo a diferença da biomassa total ( $t = 10,19$ ;  $p$ -valor = 0,001), onde as áreas sem ciclone apresentaram  $214 \pm 14 \text{ Mg ha}^{-1}$  e com ciclone  $150 \pm 14 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

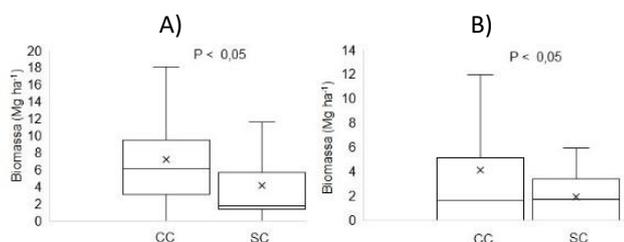


**Figura 3.** Box-plot dos valores médios de biomassa (toneladas/hectare) em áreas com e sem ciclone ao longo dos anos. O X representa o valor médio.

A passagem do ciclone causou a mortalidade de cerca 30% dos indivíduos arbóreos. Com isso, grande quantidade de biomassa foi disponibilizada no solo. A mortalidade de árvores é uma das principais causas de perda de biomassa (BRIENEN et al., 2015), quando é acentuada ou mesmo persistente por períodos mais longos, a perda de biomassa pode ser superior ao ganho (BRIENEN et al., 2015).

### Biomassa do recrutamento

O ganho de biomassa pelo recrutamento de indivíduos arbóreos foi maior ( $7,2 \pm 0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) nas áreas com passagem do ciclone quando comparado com as áreas sem ciclone ( $4,1 \pm 0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) tanto para o primeiro período ( $t = 9,69$ ;  $p$ -valor < 0,01), como para o segundo ( $t = 3,99$ ;  $p$ -valor < 0,05), com ciclone sendo superior ( $4,1 \pm 0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) às áreas sem ciclone ( $1,5 \pm 0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Figura 4).



**Figura 4.** Ganho de biomassa do recrutamento por parcela entre tratamentos com e sem ciclone ao longo dos anos. Sendo A = período compreendido entre 2009 e 2014 e B = período compreendido entre 2014 e 2016.

Distúrbios naturais podem causar mosaicos na paisagem, proporcionando variações nos diferentes processos ecológicos, tanto em termos de dinâmica sucessional, como ganho de biomassa (CHAMBERS et al., 2013). A aceleração do ganho de biomassa pelo recrutamento dos indivíduos, demonstra que os efeitos da passagem do ciclone podem perdurar por um longo período. Eventos estocásticos, como tempestades tropicais, são os principais responsáveis pela abertura do dossel e formação de mosaicos com diferentes idades, tamanhos, composição florística, conformações e velocidade de resposta (CHAMBERS et al., 2013).

A restituição da biomassa e a contribuição do recrutamento nesse processo têm sido comumente avaliada na região Amazônica sob aspectos de manejo florestal sustentado. Em tais situações, após a perda de biomassa associadas à exploração florestal de madeira, ocorre um rápido acúmulo de biomassa nessas florestas (HOUGHTON et al., 2000). Ainda, em áreas de manejo florestal, há situações em que a biomassa acima do solo recuperou 100% do estoque inicial em menos de 20 anos, tendo o recrutamento contribuído em 9% da biomassa total (WEST et al., 2014).

O restante da biomassa advém do incremento dos indivíduos arbóreos remanescentes. Foi observado que nos locais onde ocorreu maior perda de densidade e área basal foi compensada, em partes, pelo aumento da velocidade de incremento das árvores remanescentes. Nesse sentido, ciclones são grandes responsáveis por uma série de efeitos “invisíveis”, como aumento da deposição de biomassa (mortalidade) e acúmulo de biomassa (liberação de espaço) arbórea (XI, 2015).

### Biomassa das principais espécies recrutadas

Uma parte do ganho de biomassa dos regenerantes pode ser considerada de rápido sequestro, mas com baixo período de tempo aprisionado (BUGMANN & BIGLER, 2011), por que a grande maioria são espécies pioneiras de rápido crescimento e baixa longevidade (Tabela 1). A biomassa dos indivíduos pertencentes às espécies contidas na tabela 1, representam 47% dos recrutados nas áreas com ciclone e 56% nas áreas sem ciclone.

Nessa categoria estão espécies como *Vernonanthura discolor* (Spreng.) H.Rob., *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult., *Solanum mauritianum* Scop., entre outras, algumas das espécies com maior recrutamento (Tabela 1). Nesse sentido, como um bom exemplo, podemos citar a espécie *Solanum mauritianum*. Dos 14 indivíduos recrutados em 2014 (5 anos após o ciclone), 29%

deles foram registrados como mortos na avaliação de 2016.

**Tabela 1.** Cinco espécies com maior número de indivíduos recrutados ao longo de sete anos de avaliação, em cada situação tratamento

Espécie	CC		SC	
	Abu (%)	Biom (%)	Abu (%)	Biom (%)
<i>Vernonanthura discolor</i>	41 (11)	1,294 (11)	-	-
<i>Myrsine coriacea</i>	39 (10)	1,129 (10)	8 (4)	0,237(4)
<i>Lamanonia ternata</i>	34 (9)	1,196 (11)	-	-
<i>Allophylus edulis</i>	31 (8)	1,088 (10)	-	-
<i>Solanum mauritianum</i>	21 (5)	0,635 (6)	-	-
<i>Rudgea jasminoides</i>	-	-	46 (25)	1,580 (28)
<i>Ilex paraguariensis</i>	-	-	16 (9)	0,500 (9)
<i>Cupania vernalis</i>	-	-	13 (7)	0,437 (8)
<i>Myrsine umbellata</i>	-	-	12 (7)	0,369 (7)
Total das populações	166 (43%)	5,340 (47%)	95 (52%)	3,122 (56%)
Total comunidade	389	11,30	182	5,600

Abu = abundância de cada espécie e porcentagem sobre o total de recrutados da comunidade; e Biom = biomassa, em Mg ha<sup>-1</sup>.

Florestas subtropicais tendem a ser menos eficientes no ganho de biomassa (WAGNER et al., 2016), limitado principalmente pelas baixas temperaturas. Atualmente, em função de manejo inadequado, onde registra-se uma grande densidade de indivíduos de espécies pioneiras, os efeitos a longo prazo de eventos dessa natureza podem ser piores quando comparadas às regiões tropicais.

Regiões comumente afetadas por eventos extremos, como aquelas da costa leste dos Estados Unidos, furacões podem liberar cerca de 10% do carbono que seria sequestrado em todo país no período de um ano (MCNULTY, 2002). Assim, a intensificação de eventos para a região subtropical do continente Sul-americano é preocupante e traz uma nova questão a ser avaliada em estudos futuros.

## CONCLUSÕES

A passagem de um ciclone causou perda significativa de biomassa em fragmentos florestais, em função da mortalidade de indivíduos arbóreos.

As áreas atingidas pela passagem do ciclone apresentaram maiores taxas de ganho de biomassa por meio do recrutamento de novos indivíduos.

Passados sete anos desde a ocorrência de um ciclone extratropical, as parcelas não recuperaram a biomassa aos níveis anteriores a passagem de tal evento.

## AGRADECIMENTOS

À Celulose Irani, pela autorização e apoio no trabalho de campo. Ao CNPq, pela bolsa de estudos a D. Liebsch (Processo n° 141346/2014-0). À M.C.M. Marques (Processo n° 303897/2016-3) e F. Galvão (Processo n° 306216/2013-2).

## REFERENCIAS

- ALEXANDER, J.M. et al. Novel competitors shape species' responses to climate change. **Nature**, v.525, p.515-518, 2015.
- BRIENER, R.J.W. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v.519, p.344-348, 2015.
- BUGMANN, K.; BIGLER, C. Will the CO<sub>2</sub> fertilization effect in forests be offset by reduced tree longevity? **Oecologia**, v.165, n.2, p.533-44, 2011.
- CHAZDON, R.L. et al. Rates of change in tree communities of secondary Neotropical forests following major disturbance. **Philosophical Transactions of The Royal Society**, v.362, p.273-389, 2007.
- CHAMBERS, J.Q. et al. Response of tree biomass and wood litter to disturbance in a Central Amazon forest. **Oecologia**, v.141, n.4, p.596-611, 2004.
- CHAMBERS, J. et al. The steady-state mosaic of disturbance and succession across and old-growth central amazon forest landscape. **PNAS**, v.110, p.1-6, 2013.
- DUARTE, L.D.S. et al. Phylobetadiversity among Forest Types in the Brazilian Atlantic Forest Complex. **PLoS ONE**, v.9, n.8, p.1-10, 2014.
- EMANUEL, K. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. **Nature**, v.436, p.686-688, 2005.
- GOLDENBERG, S.B. et al. The recent increase in Atlantic hurricane activity: causes and implications. **Science**, v.293, p.474-479, 2001.
- HOUGHTON, R.A. et al. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v.403, p.301-304, 2000.
- IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. In: Stocker, T.F. et al. (Ed.). **Contribution of working group 1 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/jZrVAj>>.
- KERSTEN, R.A. et al. Floresta Ombrófila Mista: aspectos fitogeográficos, ecológicos e métodos de estudo. In: EISENLOHR,

P.V. et al. **Fitossociologia no Brasil: Métodos e Estudos de Casos, V2**. Viçosa: UFV, 2015.

KHARIN, V.V. et al. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. **Climatic Change**, v.119, p.345-357, 2013.

KRANKINA, O.N.; HARMON, M.E. Dynamics of the dead wood carbon pool in Northwestern Russian boreal forests. **Water, Air and Soil Pollution**, v.82, p.227-238, 1995.

LIMA, E.G.; LOREDO-SOUZA, A.M. Análise da ocorrência de downbursts no Brasil. **Ciência e Natura**, v.37, p.32-38, 2015.

MANUSCH, C. et al. Tree mortality in dynamic vegetation models - a key feature for accurately simulating forest properties. **Ecological Modelling**, v.243, p.101-111, 2012.

MARCELINO, I.P.V.O. et al. The occurrence of Tornadoes in Santa Catarina State, Brazil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.1, p.27-38, 2009.

MARQUES, M.C.M. et al. Dynamics and diversity of flooded and unflooded forests in a Brazilian Atlantic rain forest: a 16-year study. **Plant Ecology & Diversity**, v.2, p.57-64, 2009.

MCNULTY, S.G. Hurricane impacts on US forest carbon sequestration. **Environmental Pollution**, v.116, p.17-24, 2002.

REZENDE, V.L. et al. Humidity, low temperature extremes, and space influence floristic variation across an insightful gradient in the Subtropical Atlantic Forest. **Plant Ecology**, v.216, p.759-774, 2015.

*Recebido em 06/01/2018*

*Aceito em 09/02/2018*