

ESTIMATIVAS DE FLAMABILIDADE DA VEGETAÇÃO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Marcos Felipe Oliveira de Carvalho (FATEA, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: marcos.carvalho@inpe.br

Dr. Manoel Cardoso (GSBA/CCST/INPE, Orientador)
E-mail: manoel.cardoso@inpe.br

Dr. Rodrigo de Matos Oliveira (LAS/INPE, Co-orientador)
E-mail: rodmatos@las.inpe.br

Julho de 2014

ESTIMATIVAS DE FLAMABILIDADE DA VEGETAÇÃO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Marcos Felipe Oliveira de Carvalho (FATEA, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: marcos.carvalho@inpe.br

Dr. Manoel Cardoso (GSBA/CCST/INPE, Orientador)
E-mail: manoel.cardoso@inpe.br

Dr. Rodrigo de Matos Oliveira (LAS/INPE, Co-orientador)
E-mail: rodmatos@las.inpe.br

Julho de 2014

RESUMO

A ocorrência de fogo em superfícies vegetadas pode ter importantes impactos ambientais, sociais e econômicos. O grau de flamabilidade da vegetação é uma variável importante para estudos e descrições dos biomas continentais, sobretudo em áreas de preservação ambiental. Assim, o desenvolvimento de métodos capazes de estimar o grau de flamabilidade tem amplo interesse em pesquisas sobre a dinâmica da vegetação e conservação de recursos naturais. Este projeto dá continuidade às atividades desenvolvidas em 2012-2013, onde apresentamos um método que relaciona a flamabilidade da vegetação a temperatura e umidade atmosférica através de medidas indiretas da umidade da vegetação, sem a destruição do tecido vegetal, e em ambiente de laboratório. Neste método assumimos que a vegetação mais úmida e, portanto, menos inflamável, tem maior impacto sobre a umidade da atmosfera. Na etapa atual, o método foi revisto para também considerar o impacto da umidade do solo sobre as plantas. Para isto, foi criado um microambiente dentro de uma câmara climática, onde foram amostradas a umidade relativa (UR) e a temperatura (T) do ar, sem e com a presença de plantas sob três condições de umidade do solo: saturado, seco e com 50% de saturação. Para as medições, foram utilizados sensores comerciais e sensores desenvolvidos pelo Laboratório Associado de Sensores e Materiais (LAS/INPE). Os resultados desta nova etapa confirmam a utilidade do método para a realização de estimativas da flamabilidade da vegetação, e adicionam detalhes quantitativos ao entendimento dos valores amostrados. As novas medições confirmam o efeito das plantas em aumentar a UR no interior da câmara, e mostram também que este efeito é mais intenso em condições de maior umidade do solo. Por exemplo, na presença das plantas, a diferença na UR no interior da câmara climática após 1hr das condições iniciais de 30% (UR), 35°C (T) e solo saturado, foi de 52,07%. Para condições iniciais de menor umidade do solo, o impacto da presença das plantas foi menor. Durante as medições, não houve exposição ou impacto direto do solo sobre o ambiente da câmara e atribuímos, portanto, as diferenças nos valores medidos apenas a presença das plantas. No futuro, pretendemos

obter modelos matemáticos simples que relacionem a dinâmica de condições ambientais e as condições de susceptibilidade da vegetação à ocorrência de fogo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Montagem dos experimentos.....	10
Figura 2 - Medidas de umidade relativa do ar no interior da câmara climática (UR inicial 30%)..	12
Figura 3 - Medidas de umidade relativa do ar no interior da câmara climática (UR inicial 70%)..	13

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	7
2 – METODOLOGIA	8
2.2 – MEDIÇÕES INDIRETAS	8
3 – RESULTADOS	11
4 – CONCLUSÕES	14
5 – REFERÊNCIAS	17

1 – INTRODUÇÃO

Dentre os distúrbios ambientais que atingem os ecossistemas terrestres, o fogo apresenta grande relevância devido aos impactos que causa não somente na vegetação diretamente atingida, mas também nas características do solo, atmosfera, e fauna regional (OLIVEIRA, 2002). Sua causa está normalmente associada a períodos de seca juntamente com a presença de fontes de ignição, como a ocorrência de raios. No Brasil, a ocorrência do fogo é fortemente ligada a ação antrópica, através do desflorestamento, e uso do fogo como ferramenta no preparo do terreno para pastagem e agricultura. Destacamos nesse cenário os incêndios dentro de áreas de proteção ambiental, que muitas vezes apresentam áreas pequenas e com limites urbanos, além de abrigarem espécies raras ou em risco de extinção. Quando ocorrem nessas áreas, os incêndios ameaçam seriamente a biodiversidade local e todo o trabalho de preservação desenvolvido ali (ALVES e NOBREGA, 2011).

As condições ambientais de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) contribuem de forma bastante significativa com a ocorrência de incêndios. Temperaturas mais altas e baixos valores de UR criam meios para que o fogo se propague após a ignição inicial. Outro fator dominante é a umidade da biomassa vegetal. A vegetação úmida dificulta, e até mesmo impede que o fogo se propague, e a vegetação seca permite a combustão. Para a biomassa viva, a umidade é governada principalmente pela fisiologia das plantas. Determinar a umidade do tecido vegetal é uma maneira de estimar o risco de propagação do fogo em uma determinada área. Métodos capazes de realizar esta estimativa de inflamabilidade são de grande importância em estudos sobre a dinâmica da vegetação e dos ecossistemas terrestres.

Para contribuir nestes tópicos, desenvolvemos em 2012-2013 uma metodologia que relaciona a inflamabilidade da vegetação com as variáveis ambientais, através de medições indiretas da umidade do tecido vegetal, em ambiente de laboratório, onde a UR e a T poderiam ser controladas. Neste método assumimos que a vegetação mais úmida e,

portanto, menos inflamável, tem maior impacto sobre a umidade da atmosfera. Por estar diretamente relacionada com a quantidade de água no solo disponível para a planta e, portanto, com sua umidade, incluímos nesta fase do projeto a umidade do solo (US) entre as variáveis ambientais controladas.

2 – METODOLOGIA

2.1 – MEDIÇÕES INDIRETAS

Na primeira fase deste projeto, entre 2012 e 2013, desenvolvemos um método para relacionar de forma indireta a inflamabilidade da vegetação a outras variáveis ambientais relevantes, como T e UR, sem destruir a vegetação amostrada. Na fase atual, refinamos a metodologia de modo a incluir a US entre as variáveis amostradas.

Para controlar as variáveis de UR e T, utilizamos uma Câmara Climática (CC) da marca WEISS TECHNIK, modelo 100/40, onde montamos um microambiente para simular o comportamento da umidade atmosférica, sem e com a presença de plantas, e em diferentes situações de US. Para compor este ambiente preparamos um vaso com mudas de *Ixora coccinea*, que foram escolhidas por seu tamanho pequeno, boa aceitação à poda, boa composição foliar e alta resistência às variações de temperatura e umidade atmosféricas.

Para controlar a US, antes de iniciarmos as medições, com o vaso já preparado, estipulamos um número mínimo de 5 dias sem rega para que o solo do vaso secasse. Em alguns casos, devido a maiores valores de umidade do ar ambiente, a medição com solo seco era adiada até que o solo atingisse as condições desejadas. Para o solo saturado, aproximadamente 1 hora antes da medição regávamos o vaso até criar uma lâmina de água sobre o solo, então aguardávamos até o completo escoamento do excesso de água e realizávamos a medição. Sempre que necessário repetíamos a rega e aguardávamos o escoamento do excesso, até obter as condições desejadas. Conhecendo a quantidade de água necessária para saturar o solo, para criar a condição de solo 50% saturado, regávamos o solo seco com apenas metade da quantidade de água usada para saturar e aguardávamos por aproximadamente 15

minutos a infiltração e o escoamento do excesso de água, ao final deste tempo iniciávamos a medição. As condições de UR exploradas durante as medições foram de 30% e 70% e para a T os valores adotados foram de 25°C e 35°C. Esses valores foram definidos buscando a realização de medições dentro de um range de condições ambientais mais próximas das encontradas em ambientes brasileiros (AB´SÁBER, 2008).

Cada medição durava aproximadamente 2 horas, descontados o tempo necessário para deixar o solo nas condições desejadas. Em um primeiro momento, a CC era programada para as condições de UR e T pré-determinadas, e ligada sem ou com a presença de plantas em solo com condições de umidade também pré-estabelecidas. Decorrido 1 hora, a CC era desligada para que, sem a influência da CC em forçar as condições programadas, fosse possível ver a variação da umidade no interior da CC na situação medida. Após 1 hora do desligamento, a CC era aberta.

Para medir a umidade relativa dentro da CC utilizamos três sensores comerciais de umidade relativa do ar (SC1, SC2 e SC3), da marca NOVUS, modelo RHT Modbus e um sensor comercial de umidade do solo (SCS) desenvolvido pela Decagon Device, Inc. Os SC (1, 2 e 3) foram programados para realizar medições a cada 20 segundos. Também foram utilizados, para estimar a umidade atmosférica e do solo, cinco elementos sensores cerâmicos (ESC), desenvolvidos pelo grupo de Tecnologias Ambientais do LAS/INPE (Pires, 2011). Dois desses ESC foram dispostos, dentro da CC de modo a ficarem suspensos entre as folhagens da planta, a fim de medir a umidade atmosférica próxima à planta. Os outros três ESC foram inseridos no solo em três pontos diferentes ao redor da planta, a fim de medir a umidade do solo (estes sensores não foram movidos durante todo o experimento).

As medidas com o SCS e com os ESC foram realizadas 5 vezes em cada condição programada. A primeira vez antes da CC ser ligada, a segunda aproximadamente 15 minutos após a CC ser ligada, a terceira aproximadamente 15 minutos antes da CC ser desligada, a quarta aproximadamente 15 minutos após o desligamento da CC e a quinta

aproximadamente 15 minutos antes da CC ser aberta. Todas as medidas foram realizadas no Laboratório de Tecnologias Ambientais do LAS/INPE, dentro do horário de funcionamento deste laboratório, entre as 08h30 e 17h00.

Em cada dia, antes de iniciar as medições, o solo do vaso onde estavam as plantas a serem amostradas foi coberto com filme de PVC para que a evaporação do solo não interferisse no ambiente da CC. Os SC (1, 2 e 3) foram dispostos sobre o solo, ao redor da planta, conforme Figura 1, e o SCS foi inserido todos os dias no mesmo local.

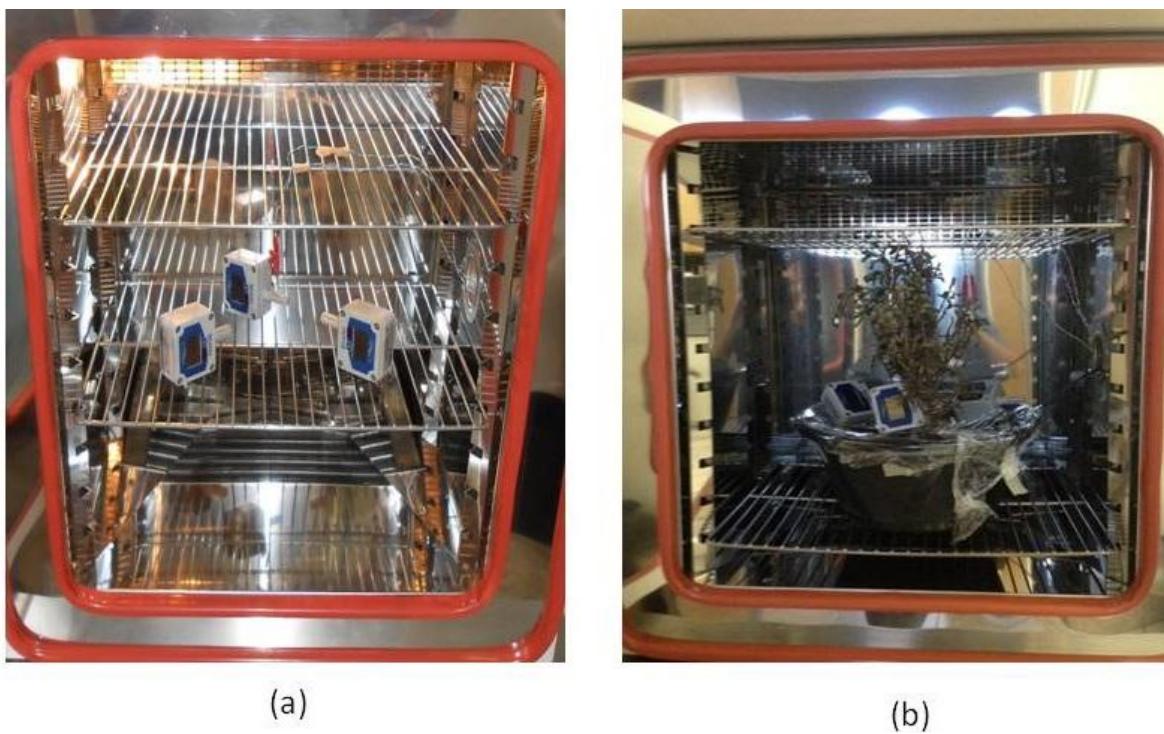


Figura 1 - Montagem dos experimentos. Disposição dos sensores dentro da câmara climática (a) sem a presença das plantas e (b) com a presença das plantas.

3 – RESULTADOS

Devido ao tempo gasto na reestruturação da metodologia e na execução do experimento, não foi possível realizar a análise das medidas feitas pelos sensores cerâmicos. Dessa forma, apresentamos abaixo apenas os resultados obtidos com os sensores comerciais.

As Figuras 2 e 3 destacam as medições de UR para o período após o desligamento da CC. Estas figuras tem o objetivo de facilitar a análise do comportamento da UR dentro da CC quando a influência do equipamento que controla sua atmosfera foi minimizada, mas permitindo ainda a influência das plantas em seu interior. As figuras mostram as médias dos valores medidos pelos SC (1, 2 e 3) e estão organizados por condições programadas, mostrando a evolução da UR dentro da CC com a planta em solo seco (linha verde), solo com aproximadamente 50% de saturação (linha vermelha), solo saturado (linha roxa) e sem a presença da planta (linha amarela). Os gráficos mostram os 10 minutos finais antes do desligamento da CC (tempo 0:10) e o período de 1 hora em que a CC ficou desligada e fechada.

Assim como nas medidas realizadas na fase anterior deste projeto, é possível notar que a variação da UR após o desligamento da CC é maior para o valor mais baixo de umidade programada, principalmente na presença das plantas. Como mostram as curvas, os valores de UR se elevam mais rapidamente nos painéis em que a UR programada foi de 30%. Também, todas as curvas referentes a presença das plantas mostram uma elevação de UR mais rápida do que as curvas referentes a CC sem as plantas (a curva amarela é sempre mais baixa que as outras). Aparentemente, esta elevação é também mais rápida quando a umidade inicial é menor, conforme comparação visual entre os painéis com UR programada em 30% em relação aos painéis com UR programada em 70%.

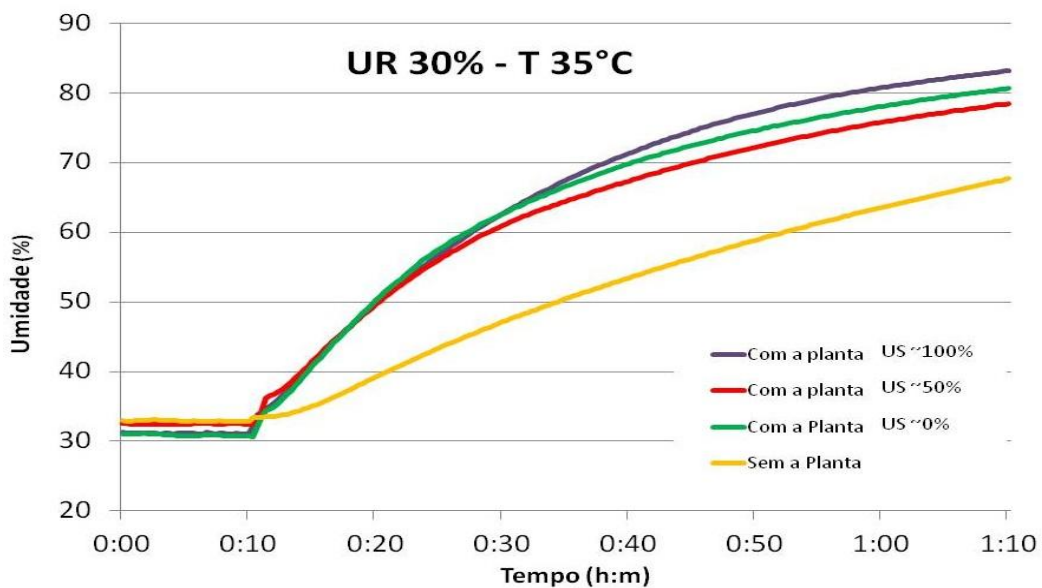
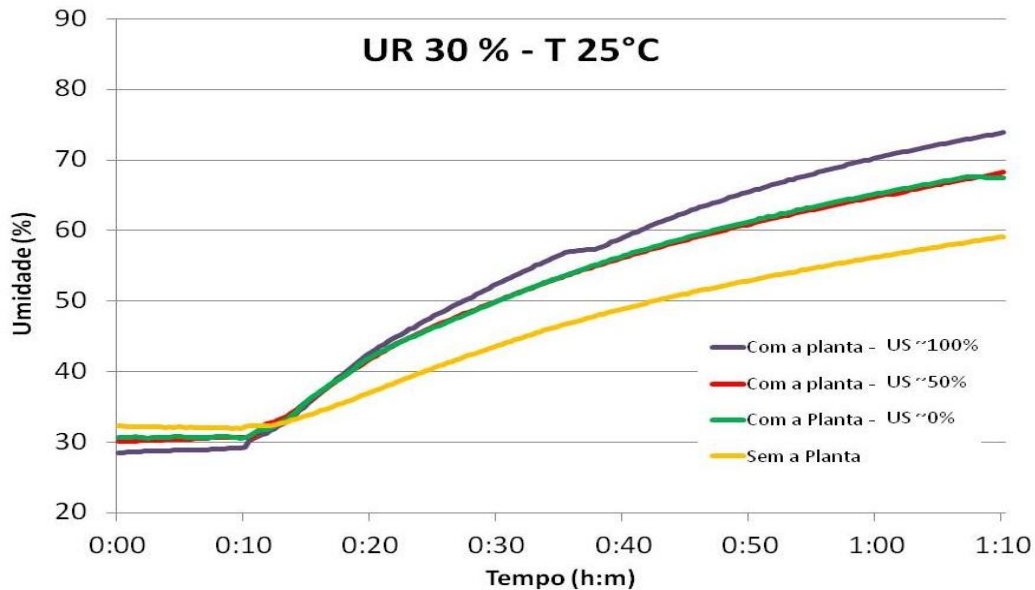


Figura 2 - Medidas de umidade relativa do ar no interior da câmara climática (UR inicial 30%). Gráficos da média dos sensores comerciais (1, 2 e 3) exibindo apenas as medidas realizadas nos tempos finais dos experimentos, após a câmara climática (CC) ter sido desligada, em condições programadas em umidade relativa 30% e temperatura de 25°C (painel superior) e umidade relativa de 30% e temperatura de 35°C (painel inferior). Os valores US indicam as seguintes condições de umidade do solo (US): saturado (US ~100%), seco (US ~0%) e a 50% da saturação (US ~50%). Para comparação, os gráficos ressaltam apenas as medidas iniciadas 10 min antes da CC ser desligada (tempo igual a 0:00), e 1h após o desligamento da CC (tempo igual a 1:10).

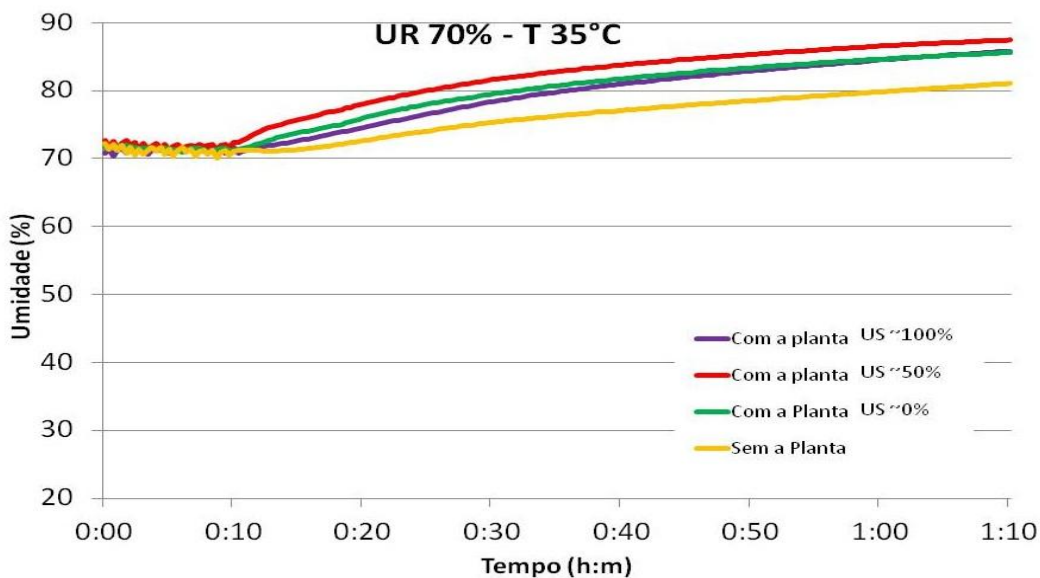
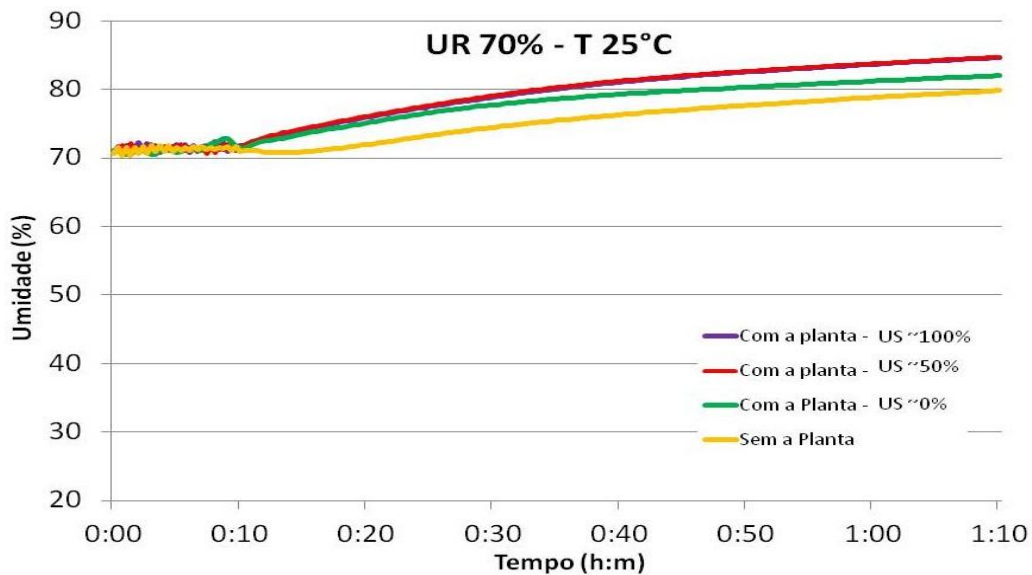


Figura 3 - Medidas de umidade relativa do ar no interior da câmara climática (UR inicial 70%). Gráficos da média dos sensores comerciais (1, 2 e 3) exibindo apenas as medidas realizadas nos tempos finais dos experimentos, após a câmara climática (CC) ter sido desligada, em condições programadas em umidade relativa 70% e temperatura de 25°C (painel superior) e umidade relativa de 70% e temperatura de 35°C (painel inferior). Os valores US indicam as seguintes condições de umidade do solo (US): saturado (US ~100%), seco (US ~0%) e a 50% da saturação (US ~50%). Para comparação, os gráficos ressaltam apenas as medidas iniciadas 10 min antes da CC ser desligada (tempo igual a 0:00), e 1h após o desligamento da CC (tempo igual a 1:10).

Tabela 1 - Diferença entre o valor de umidade relativa medido pelos sensores durante o experimento e o valor programado.

	UR 30%				UR 70%			
	T 25°C	Diferença	T 35°C	Diferença	T 25°C	Diferença	T 35°C	Diferença
Umidade Relativa (%) sem a planta	45,21	15,21	49,33	19,33	75,11	5,11	75,79	5,79
Umidade Relativa (%) com a umidade do solo ~0%	50,74	20,74	60,47	30,47	77,45	7,45	79,37	9,37
Umidade Relativa (%) com a umidade do solo ~50%	50,59	20,59	59,30	29,3	79,01	9,01	81,11	11,11
Umidade Relativa (%) com a umidade do solo ~100%	53,02	23,02	61,62	31,62	78,89	8,99	78,74	8,74

4 – CONCLUSÕES

Como contribuição a formação acadêmica do bolsista, as atividades deste projeto proporcionaram também oportunidades de participar em reuniões científicas. Durante o primeiro semestre de vigência da bolsa, os resultados do trabalho realizado entre 2012 e 2013 foram apresentados no X Encontro de Iniciação Científica e na VIII Mostra de Pós-Graduação (Mobilidade sem Fronteiras), realizados pelas Faculdades Integradas Teresa D'Ávila (FATEA), em Lorena, São Paulo, entre os dias 22 e 24 de outubro de 2013, na modalidade oral e resumo expandido. Também durante este período, o bolsista participou do “Curso de Monitoramento de Queimadas por Satélites”, organizado e ministrado pelo INPE e realizado no CEPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, entre os dias 29 e 31 de outubro do mesmo ano.

Em relação aos desenvolvimentos científicos específicos do projeto, o refinamento da metodologia utilizada anteriormente, através da inclusão da variável umidade do solo foi um dos principais resultados. As amostragens de umidade relativa do ar (UR) da câmara climática (CC) mostraram diferenças interessantes entre os valores medidos sem e com a presença das plantas em diferentes situações de umidade do solo (US). A maior diferença entre a UR programada e a média amostrada pela CC foi de 31,62%, quando o solo estava saturado e as condições iniciais programadas foram de UR em 30% e de T em 25°C. A menor diferença foi de 5,11%, com a CC sem a presença da planta e em condições iniciais de UR 70% e T 25°C (Tabela 1).

De acordo com as medições, a variação da UR dentro da CC foi maior com a presença da planta (Figuras 2 e 3). Nas amostragens com UR mais baixa, com a presença da planta, notamos maior variação da UR quando o solo estava saturado (linha roxa), apresentando variação maior com a T em 35°C. Já nos casos onde a UR programada foi de 70%, a maior e a menor variação foram detectadas com o solo com 50% US e com a CC sem planta, respectivamente, quando a T inicial foi 35°C. Quando a T foi de 25°C, as curvas dos solos saturado e com US ~50% foram iguais.

É interessante, e um pouco contra intuitivo, que em alguns casos o impacto das plantas sobre a atmosfera da CC foi menor para umidade do solo maior. Um dos motivos para esta observação pode ser o fato de que talvez os instrumentos utilizados, e a aplicação do método, não tiveram precisão suficiente para determinar as diferenças entre solo seco e a 50% de umidade. É possível também que, para a fisiologia das plantas amostradas, não exista grande diferença entre o solo estar a 50% de saturação, ou saturado. Acreditamos que o último motivo é talvez o mais plausível, já que a retirada de água do solo pelas plantas pode ocorrer baseada em patamares de umidade do solo e não de forma contínua (LACERDA et al, 2007). Assim, para as plantas amostradas, é possível que este patamar seja próximo ao valor de 50% de saturação, e que valores mais elevados não fazem com que a taxa de transpiração das plantas seja maior.

Para a continuação deste projeto, propomos a análise das medições realizadas com os sensores cerâmicos, bem como a elaboração de equações simples que relacionem a dinâmica das condições ambientais reproduzidas em laboratório, no interior da câmara climática utilizada para as medições, e as condições de susceptibilidade das plantas amostradas à ocorrência de fogo. Agradecemos também o apoio institucional conseguido através dos desenvolvimentos da Componente Interações Biosfera-Atmosfera do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas (CNPq Processo 573797/2008-0 e FAPESP Processo 2008/57719-9), da Rede Brasileira de Pesquisa em Mudanças Climáticas (Rede CLIMA) e do Programa FAPESP em Mudanças Climáticas Globais.

5 – REFERÊNCIAS

- AB´SÁBER, Aziz Nacib. **Ecosystemas do Brasil: ecosystems of Brazil**. Metalivros, 2008.
- AGEE, J. K. et al. Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behavior. **Forest Ecology and Management**, v.167, p.57-66, 2002.
- ALVES, K. M. A. S. A.; NOBREGA, R. S. Uso de Dados Climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal, **Mercator**, v.10, p.209-219, 2011. DOI: 10.4215/RM2011.1022. 0013
- CARDOSO, M.F. et al. (2008) **Long-term potential for fires in estimates of the occurrence of savannas in the tropics**. *Global Ecology and Biogeography*. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2007.00356.x.
- COCHRANE, M.A. (2003) Fire science for rainforests. *Nature*, 421, 913-919.
- LACERDA et al. Apostila de Fisiologia Vegetal. **Relações Hídricas**. Universidade Federal do Ceará. 2007. Disponível em <http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/RELACOES_HIDRICAS.pdf>, Acesso dia 14 de julho de 2014.
- NARCISO, M. G. et al. Utilização de sistemas de informação de dados climáticos para cálculo de índices de risco de incêndio para a sub-região da Nhecolândia, **Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.220-229.
- OLIVEIRA, D. S. O. **Zoneamento de risco de incêndios em povoamentos florestais no norte de Santa Catarina**, p.124, Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- Pires, M.C. **Estudo de cerâmicas porosas de titânia e zircônia mono e multicamadas para aplicação como sensores de umidade do ar**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais / Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores, orientada pelos Drs. Maria do Carmo de Andrade Nono, e Rodrigo de Matos Oliveira. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. sid.inpe.br/mtecm19/2012/01.17.23.09-TDI.] 2011.
- RAY, D. et al. Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested Amazon landscape, **Ecological Applications**, v.15, n.5, p.1664-1678, 2005.

SCHROEDER, W. et al. **Identificação de Padrões Climatológicos que contribuem para a Ocorrência de Incêndios em Cerrado Usando Dados AVHRR/NOAA-14**, Disponível em <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-3987880621cdda119c1ab47cd3210821.pdf>>, Acesso dia 23 de janeiro de 2013. CBMET 2000, Rio de Janeiro.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation, fire susceptibility, and Potential tree responses to fire in the eastern Amazon, **Ecological Society of America**, v.71, n.2, p.437-449, 1990.

VERBESSELT, J. et al. Monitoring herbaceous fuel moisture content with SPOT VEGETATION time-series for fire risk prediction in savanna ecosystems, **Remote Sensing of Environment**, v.108, p.357-368, 2007.