

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

SÉRGIO ANDERSON CAVALCANTE CHAVES

**ESTIMATIVA DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DO AMBIENTE EM TRÊS
DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DO AMAZONAS USANDO A
EQUAÇÃO DE SIMPSON**

Itacoatiara

2018

SÉRGIO ANDERSON CAVALCANTE CHAVES

**ESTIMATIVA DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DO AMBIENTE EM TRÊS
DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DO AMAZONAS USANDO A
EQUAÇÃO DE SIMPSON**

Monografia apresentada para obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal, do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, da Universidade do Estado do Amazonas.

Orientador: Prof. Anízio de Araújo Cavalcante, Dr.

Orientador: Prof. Eduardo de Souza Mafra, Dr.

Itacoatiara

2018

SÉRGIO ANDERSON CAVALCANTE CHAVES

**ESTIMATIVAS DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DO AMBIENTE EM TRÊS
DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DO AMAZONAS USANDO A EQUAÇÃO DE
SIMPSON**

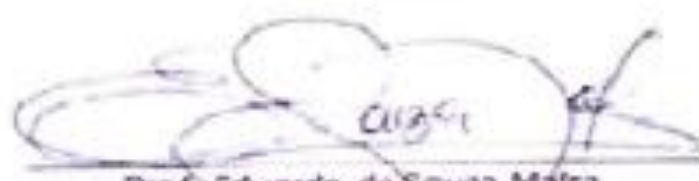
Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal, da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito obrigatório para a obtenção do título de bacharelado em Engenharia Florestal.

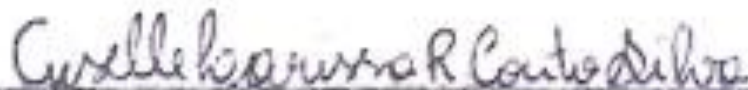
Itacoatiara-AM, 04 de novembro de 2018.

Nota: 8,5

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr.: Anizio de Araújo Cavalcante – CESIT/UEA
(Orientador)


Prof. Eduardo de Souza Mafra
Orientador


Profª. M.Sc. Giselle Larissa Rebouças Couto Silva – CESIT/UEA

AGRADECIMENTOS.

Em primeiro lugar, a Deus por toda força, e por tudo que me proporcionou até aqui.

A minha família por todo apoio.

Ao meu tio Fredson Cristiano que me incentivou a estudar e a fazer esse curso

A minha tia Suely Melo pela motivação.

Aos professor, orientador Eduardo Mafra e Anízio Cavalcante, que foram grandes parceiros para conclusão desse trabalho.

Ao professor Luís Enrique Gainette, que me auxiliou na correção da minha monografia, e que me motivou quando dizia que não íamos conseguir, que ia acontecer algum problema como queimar meu computador, ser assalto e até mesmo ser assassinado.

Aos demais professores que de alguma forma contribuíram para este momento.

A todos os meus amigos pelo companheirismo e partilha do conhecimento.

Aos meus amigos da turma 11.

ÉPIGRAFE

Acredito que errado é aquele que fala certo mas não vive o que diz... (Autor desconhecido)

RESUMO

A madeira por ser um material higroscópico tem a capacidade de ganhar e perder água. Essa característica influencia na trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural da madeira. O desempenho da madeira está diretamente relacionada a qualidade da secagem. A umidade de equilíbrio é um fator importante no processo de secagem natural, pois a mesma define as condições nas quais a madeira deve ser seca. Se a madeira entrar em equilíbrio com o ambiente, o processo de secagem pode resultar em benefício ou prejuízo, pois a umidade de equilíbrio em que a madeira está com o ambiente, pode não ser o ideal e a madeira ainda não estará seca, provocando alguns danos resultando em aparecimento de fungos, instabilidade dimensional, frestas dentre outros. A umidade da madeira depende da umidade relativa do ar e da temperatura do ambiente, para que ela possa chegar a um equilíbrio dinâmico. O objetivo geral deste estudo foi estimar a umidade de equilíbrio, em três diferentes municípios do estado do Amazonas, com a finalidade de fornecer informação que permitem o bom desempenho da madeira no processo de secagem natural. O presente estudo analisou dados meteorológicos (temperatura e umidade relativa do ar), no período de 20 anos, dos municípios de Itacoatiara (Região do Médio Amazonas), São Gabriel da Cachoeira (Região do Alto Rio Negro) e Eirunepé (Região do Juruá), foi calculado a umidade de equilíbrio do ambiente através do modelo matemático elaborado por Simpson, afim de se encontrar um período do ano que fosse mais favorável para a secagem natural da madeira. Notou-se que estes municípios, em função destes dados (umidade relativa do ar e temperatura) não podem chegar a um teor de umidade mais baixo do que a umidade de equilíbrio calculada para cada município. Portanto a secagem ao ar livre permite alcançar valores de umidade da madeira até a de equilíbrio com as condições climáticas locais.

Palavras-chave: Temperatura, Secagem natural e higroscopia

ABSTRACT

The wood for being a hygroscopic material has the ability to win and lose water. This characteristic influences the workability, dimensional stability, mechanical strength and natural durability of the wood. Wood performance is directly related to drying quality. Equilibrium moisture is an important factor in the natural drying process, since it defines the conditions in which the wood should be dry. If the wood goes into equilibrium with the environment, the drying process can result in benefit or loss, because the equilibrium moisture in which the wood is with the environment, may not be ideal and the wood will not be dry, causing some damage resulting in the Of fungi, dimensional instability, cracks among other. The moisture of the wood depends on the relative humidity of the air and the ambient temperature, so that it can reach a dynamic equilibrium. The general objective of this study was to estimate the equilibrium moisture in three different municipalities of the state of Amazonas, with the purpose of providing information that allows the good performance of wood in the natural drying process. The present study analyzed meteorological data (temperature and relative humidity), in the period of 20 years, of the municipalities of Itacoatiara (middle Amazon region), São Gabriel da Cachoeira (upper Rio Negro region) and Eirunepé (Juruá region), was calculated the Environmental equilibrium moisture through the mathematical model elaborated by Simpson, in order to find a period of the year that would be more favorable for the natural drying of wood. It was noted that these municipalities, depending on these data (relative humidity and temperature) can not reach a moisture content lower than the equilibrium moisture calculated for each municipality. Therefore the outdoor drying allows to achieve moisture values from the wood to the equilibrium with the local climatic conditions.

Keywords: Temperature, Natural Drying and Hygroscopy

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
1.1 HIGROSCOPICIDADE	10
1.2 UMIDADE DE EQUILÍBRIO E INSTABILIDADE DIMENSIONAL DA MADEIRA	10
1.3 SECAGEM DA MADEIRA.....	11
1.3.1 Secagem em Estufa	11
1.3.2 Secagem Natural.....	12
1.3.3 Secagem em Estufa Solar	12
1.4 DEFEITOS RELACIONADOS A SECAGEM	12
1.5 EQUAÇÃO DE SIMPSON	13
1.6 REGIÕES DO ESTADO DO AMAZONAS.	13
1.7 NORMAIS CLIMATOLÓGICAS	14
1.8 EL NIÑO	14
2 METODOLOGIA.....	16
2.1 ESCOLHA DAS REGIÕES	16
2.2 COLETA DE DADOS	17
2.3 ANÁLISE DOS DADOS	17
2.4 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO	17
2.5 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE 1998 A 2017	19
3.2 INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS UMIDADE RELATIVA DO AR, TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NA UMIDADE DE EQUILÍBRIO.....	21
3.3 VARIAÇÃO MENSAL DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DO AMBIENTE.	22
CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

INTRODUÇÃO

A madeira é um material complexo e heterogêneo que possui várias características específicas, e uma delas é a sua capacidade de ganhar e perder umidade, até atingir a um equilíbrio dinâmico com o ambiente. Essa característica higroscópica é importante no comportamento da madeira quanto ao processo de secagem e define certos padrões de qualidade quanto a sua trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural.

A madeira quando derrubada ou processada fica exposta a fatores climáticos daquele ambiente como umidade relativa e temperatura, que variam no decorrer do período (dia, mês e até ano). Essas variações a curto prazo afetam a madeira superficialmente, ao passo que a longo prazo tende a alterar o comportamento da madeira. Por esta razão, é importante definir a umidade de equilíbrio (U.E) do ambiente onde a madeira será seca ou processada para evitar certos inconvenientes. A madeira seca a teores de umidade diferentes de onde ela for utilizada pode ocasionar certos danos como frestas em portas e janelas, empenos, entre outros.

Cada cidade possui um clima diferente mesmo estando em uma mesma região, que é conhecido como microclima, e essa diferença pode estar relacionado com a presença de vegetação densa, altitude, dentre outros fatores. Simpson (1971) desenvolveu cálculos matemáticos utilizando tabelas com dados de umidade relativa e temperatura, para estimar a umidade de equilíbrio do ambiente em diferentes condições ambientais.

A umidade de equilíbrio é uma ferramenta importante no processo de secagem natural, pois ela define o teor de umidade em que a madeira deve ser seca para evitar os problemas relacionados às variações climáticas do ambiente onde a madeira será empregada. Para se reduzir as variações dimensionais e proporcionar melhor atuação em serviço, a madeira deve ter sua umidade reduzida a um teor em que ela irá atingir em uso.

A estimativa da umidade de equilíbrio de três municípios situados em diferentes regiões do Amazonas servirá como suporte para avaliar a eficiência do processo de secagem ao ar da madeira. Assim, este projeto de pesquisa pretende responder à seguinte pergunta:

“Qual a umidade de equilíbrio, em 3 diferentes regiões do Estado do Amazonas, considerando-se os municípios de Itacoatiara (Região do Médio Amazonas), Eirunepé (Região do Juruá) e São Gabriel da Cachoeira (Região do Alto Rio Negro)?”.

O objetivo geral deste estudo foi estimar a umidade de equilíbrio, em diferentes mesorregiões do Estado do Amazonas, com a finalidade de fornecer informação que permite o bom desempenho da madeira no processo de secagem natural. Tendo como objetivos específicos: determinar a umidade de equilíbrio para municípios das diferentes mesorregiões do Amazonas; verificar a influência das variáveis temperatura, umidade relativa e precipitação na umidade de equilíbrio; e analisar a variação mensal da umidade de equilíbrio nas cidades estudadas.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 HIGROSCOPICIDADE

Higroscopicidade é definida como a capacidade do material trocar umidade com o meio no qual está inserido, ou seja, variando sua umidade conforme as condições climáticas do ambiente (BRAZ *et al.*, 2015). Essa característica ajuda a entender defeitos que possam ocorrer com a madeira como empenos e rachaduras.

A madeira por ser material higroscópico, possui a capacidade de absorver ou perder água para o meio ambiente. Tal característica é explicada pela constituição química da madeira, composta pelos polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina. Dentre essas substâncias, as polioses são as que possui capacidade de absorver água, contribuindo para a variação dimensional da madeira em função da troca de água com o meio (BORGES; QUIRINO, 2004).

1.2 UMIDADE DE EQUILÍBRIO E INSTABILIDADE DIMENSIONAL DA MADEIRA

Conforme Galvão (1975), a umidade da madeira depende dos elementos climáticos, umidade relativa do ar e a temperatura. Considerando-se esses dois elementos, é possível se chegar à umidade de equilíbrio de um ambiente, tornando possível estimar-se a umidade de equilíbrio em diferentes condições ambientais.

Um problema da madeira é a sua instabilidade dimensional. Abaixo de 30% de umidade a madeira varia suas dimensões conforme a água que ganha ou perde para o ambiente (GALVÃO, 1975). Por isso, Galvão (1981) explica que a instabilidade dimensional da madeira está diretamente ligada à variação da umidade, provocada pelas oscilações climáticas ocasionando vários problemas aos usuários, tais como portas que não fecham, gavetas travadas, molduras torcidas, peças de móveis que descolam e rachaduras na madeira em geral, dentre outros problemas.

Conforme Baraúna e Oliveira (2009), é importante o conhecimento da umidade de equilíbrio onde será empregada para evitar que a madeira venha a sofrer algum defeito. Apesar da heterogeneidade quanto à espécie, estrutura anatômica entre outros, a umidade de equilíbrio da madeira quando exposta ao ar pode ser prevista atualmente com bastante precisão para a maioria das condições (ELEOTÉRIO *et al. apud* DURLO, 1991).

1.3 SECAGEM DA MADEIRA

Braz *et al.*, (2015) explicam que no processo de secagem, o primeiro tipo de umidade ou água a ser liberada é a livre, que ocasiona a perda de massa de água da madeira. Após a liberação de toda água livre da madeira, tem-se o denominado ponto de saturação das fibras (PSF), variando em 28% a 30% de umidade, e que abaixo desse valor a madeira começa a sofrer inconvenientes como as variações dimensionais.

Por isso, segundo o processo de secagem possui grande importância, sendo elemento vital que deve ser agregado ao processamento da madeira sólida, pois assegura qualidades dimensionais estáveis, reduz custos e se tem bom desempenho nos produtos manufaturados (SEVERO, 2000). A secagem é uma etapa de grande importância para o processamento da madeira, pois proporciona, entre outras vantagens, melhoria das características de trabalhabilidade e redução tanto da movimentação dimensional, como da possibilidade de ataque de fungos e insetos (ANDRADE, 2000), redução de custos, melhora a atuação de vernizes e tintas e juntas de colagem, além de aumentar a resistência mecânica (JANKOWSKY; GALINA, 2013). Para Susin *et al.*, (2014), é importante a escolha do método de secagem, pois este influi na qualidade da madeira, teor de umidade desejado para determinado objetivo da madeira. A condução da secagem adequada reduz o tempo de secagem e os defeitos.

1.3.1 Secagem em Estufa

Galvão (1975) diz que a forma econômica mais viável é a secagem feita em estufa ou secadores, que permite minimizar as variações dimensionais, pois é um ambiente controlando que diminui ou elimina esse problema.

Segundo Jankowsky e Galina (2013), a secagem da madeira poder ser vista como algo natural e inevitável da madeira, que mesmo sendo um processo natural, a secagem da madeira serrada deve ser conduzida conforme as técnicas recomendadas, para evitar possíveis inconvenientes. Afirmam ainda que a secagem controlada, em secadores ou estufas proporciona benefícios, como a redução do tempo de secagem, permite ajustar a umidade de acordo com as características climáticas do local, possibilita ter teores de umidade mais baixos, minimiza os defeitos de secagem como rachaduras, empenamentos e encanoamentos, elimina insetos e fungos presentes na madeira.

1.3.2 Secagem Natural

A secagem livre ou secagem natural, realizado em pátios ventilados, consiste no empilhamento da madeira serrada, coberto para evitar o contato direto com os raios solares e com a chuva. O empilhamento deve ocorrer de forma eficiente deixando-se espaços entre as madeiras, de modo que o vento circule nesses espaços, permitindo secar naturalmente até que esta atinja a umidade de equilíbrio do ambiente. A secagem natural dependerá da temperatura, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento. Esse processo leva mais tempo se comparado a outros métodos e, como seu teor de umidade atinge o equilíbrio com o ambiente, então a madeira possuirá certas limitações para certos usos (SUSIN *et al.*, 2014).

Silva *et al.*, (s/d) explica que esse método é mais utilizado como pré-secagem ou secagem parcial, que após deve ser encaminhado a uma secagem em estufa. Que objetivo da secagem natural é retirar a maior quantidade de umidade possível usando as condições ambientais

1.3.3 Secagem em Estufa Solar

A secagem em estufa solar é um método intermediário, que possui controle parcial das condições de secagem, possuindo baixo controle operacional. Em uma comparação, SUSIN *et al.* (2014) compara o método de secagem solar com o método de secagem ao ar e esclarece que a qualidade da madeira seca em estufa solar é melhor devido à menor incidência de defeitos.

1.4 DEFEITOS RELACIONADOS A SECAGEM

Conforme Jankowsky (1985), as tensões provocadas na madeira acontecem basicamente no processo de secagem, por isso a secagem tem um papel fundamental, pois agrega qualidade à madeira. Muitos são os defeitos causados pelo uso inadequado das técnicas de secagem.

Os defeitos relacionados ao processo de secagem acontecem quando a madeira começa a perder umidade naturalmente. Esses defeitos – empenamentos, colapso, rachadura e encruamento – tem como causa as características da madeira e da peça em si, que podem ser agravados no processo de secagem (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

1.5 EQUAÇÃO DE SIMPSON

A equação apresentada por Simpson (1971), utilizada para estimar os teores de umidade de equilíbrio, baseia-se na teoria de Hailwood e Horrobin, que considera a água absorvida pela madeira ocorrendo parte como água de hidratação e parte como água dissolvida, formando uma solução com a celulose. Haveria, assim, três componentes em equilíbrio: água dissolvida, celulose hidratada e celulose. Como consequência, aparecem na fórmula de Simpson (1971) as constantes K_1 e K_2 que são valores de equilíbrio.

Posteriormente, Simpson (1973) estudou a eficiência de nove diferentes modelos matemáticos obtidos das teorias de adsorção de materiais higroscópicos, na estimativa da umidade de equilíbrio da madeira. Concluiu que a teoria de Hailwood e Horrobin e a teoria de Pierce são as mais precisas, pois os parâmetros dos modelos dependem da temperatura, e que o teor de umidade está em função da umidade relativa.

1.6 REGIÕES DO ESTADO DO AMAZONAS.

O estado do Amazonas é o mais extensa das unidades federativas do Brasil, com uma superfície de 1.570.745 km². O estado possui 62 municípios, sendo o maior Barcelos, esses municípios estão contidos em nove sub mesorregiões como mostrar a seguir e os seu principais municípios:

- a) Região do Alto Solimões, compreende os município: Amaturá, Atalaia do Norte, Benjamim Constant.
- b) Região do Triângulo Jutá/Solimões/Juruá, compreende as áreas: Amaturá, Atalaia do Norte, Benjamim Constant
- c) Região do Purus: Boca do Acre, Canutama, Lábrea, Pauini
- d) Região do Juruá: Eirunepé, Envira, Ipixuna, Itamarati
- e) Região do Madeira: Borba, Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã e Apuí
- f) Região do Alto Rio Negro: Barcelos, Santa Isabel do Rio Negro e São Gabriel da Cachoeira.
- g) Região do Rio Negro/Solimões: Anamã, Anori, Autazes, Beruri, Caapiranga, Careiro
- h) Região do Médio Amazonas: Itacoatiara, Itapiranga, Maués, Nova Olinda do Norte; Presidente Figueiredo

- i) Região do Baixo Amazonas: Barreirinha, Boa Vista do Ramos, Nhamundá, Parintins

Essas subdivisões compõem a região norte de modo a facilitar a organização do estado (SABER, 2002)

1.7 NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define ‘Normais’ como valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo períodos consecutivos de 30 anos (INMET, 2018).

Esses valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas, são denominados como normais climatológicas padronizadas. Pelo fato de ser um período relativamente longo pode não ter registro, seja porque a estação não esteve em operação durante o período de 30 anos, seja por outra razão qualquer, e então utiliza-se as Normais Provisórias que são médias a curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos (REBOITA e KRUCHE, 2018).

1.8 EL NIÑO

O El Niño é provocado pelo comportamento da temperatura da superfície das águas do Oceano Pacífico tropical (parte central e junto à costa oeste da América do Sul) associado aos campos de pressão (representados pelo Índice de Oscilação Sul) altera o padrão de circulação geral da atmosfera. Que influência no clima de diferentes regiões do mundo e sendo o responsável pelos desvios extremos em relação ao clima normal. Ou seja, pelas chamadas anomalias climáticas persistentes, que duram de 6 a 18 meses, por exemplo. Essa anomalia está relacionada com o regime de chuva onde o regime térmico também pode ser alterado. (DINIZ *et al.*, 2010).

Ferreira *et al.*, (s/d) analisou o impacto do El Niño nas diferentes regiões do Paraná e constatou que esse fenômeno possui influência no comportamento das chuvas, onde no período de El Niño há um aumento expressivos nos totais de precipitação no estado do Paraná.

No período de El Niño acontece várias mudanças que são muito variados, produzindo secas em algumas regiões, temperaturas elevadas e enchentes em outras áreas.

Em regiões, como Amazônia e frequentemente na região Nordeste do país, ocorrem diminuições relevantes dos índices pluviométricos, aumentando as dificuldades com as secas, que chegam a durar 2 anos em períodos comprovados de ocorrência do fenômeno El Niño (ECODEBATE, 2011).

2 METODOLOGIA

2.1 ESCOLHA DAS REGIÕES

Para desenvolver o presente estudo de análise da umidade de equilíbrio, escolheu-se três municípios do Estado do Amazonas. Considerando que o estado possui uma divisão em mesorregiões, escolheu três delas que possuem a influência de três diferentes afluentes e que estejam distantes de modo a excluir qualquer possibilidade de influência de uma sobre outra. Dessa forma escolheu-se uma mesorregião mais ao norte, outra mais ao sul e a terceira mais a nordeste do estado.

Dentro dessas mesorregiões, trabalhou-se com os dados de um município de cada mesorregião, pois foram os que se pode coletar os dados no referido período de tempo estudado. Os municípios escolhidos e as respectivas mesorregiões estão listadas a baixo:

- 1) São Gabriel da Cachoeira, Região do Alto Rio Negro;
- 2) Eirunepé, Região do Juruá; e
- 3) Itacoatiara, Região do Médio Amazonas.

A região amazônica possui um clima equatorial, quente e úmido, que é uma combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar, a temperatura média atingida e de 31,4°C, possui uma precipitação média de aproximadamente 2300 mm.ano⁻¹ podendo variar até 3500 mm e a umidade relativa do ar anualmente varia de 80 a 90% (FISCH *et al.*, 2004).

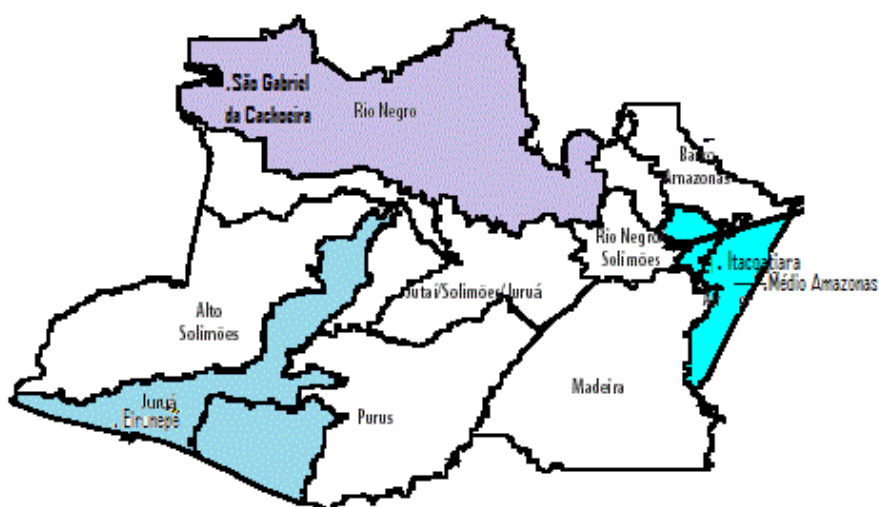


Figura 1: Localização dos municípios estudados.
Fonte: GEO PSC1

2.2 COLETA DE DADOS

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar, foram coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e correspondem ao período de 1998-2017, para os municípios de São Gabriel da Cachoeira, Eirunepé, e Itacoatiara. Optou-se por coletar dados dos anos de 1998 a 2017, totalizando 20 anos de dados, pois eram os anos com menos falhas nas tabelas de umidade relativa do ar (URar) e temperatura. Utilizou-se as médias de cada mês para o cálculo da Umidade de Equilíbrio.

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi realizada por meio de planilha eletrônica, onde foram inseridos os dados de umidade, temperatura e precipitação, dos doze meses do ano de cada um dos vinte anos. Posteriormente calculou-se as médias de temperatura e umidade relativa do ar (URar) para cada mês de todos os anos.

2.4 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

De posse dos valores de umidade relativa do ar e da temperatura, determinou-se a umidade de equilíbrio para cada mês, para isso utilizou-se a equação desenvolvida por Simpson (1971), corrigida para a utilização da temperatura em graus Celsius (JANKOWSKY, 1985).

O método desenvolvido por Simpson (1971), permite calcular a umidade de equilíbrio do ambiente em função da temperatura e umidade relativa. A equação de Simpson (Equação 1), é utilizada para calcular a umidade de equilíbrio da madeira, através de três constantes, K_1 , K_2 e W .

$$UE = \left[\frac{K_1 K_2 h}{1 + K_1 K_2 h} + \frac{K_2 h}{1 - K_2 h} \right] \times \frac{180}{W} \quad (1)$$

Onde:

UE – Umidade de equilíbrio (%);

T°C – Temperatura em graus Celsius;

h – Pressão de vapor relativa $\left(\frac{\text{Umidade Relativa}}{100} \right)$

Cálculos das constantes:

$$K_1 = 4,737 + 0,04773 (T^{\circ}\text{C}) - 0,00050123 (T^{\circ}\text{C})^2;$$

$$K_2 = 0,70594 + 0,001698 (T^{\circ}\text{C}) - 0,000005553 (T^{\circ}\text{C})^2;$$

$$W = 223,374 + 0,69309 (T^{\circ}\text{C}) + 0,01850 (T^{\circ}\text{C})^2;$$

2.5 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Afim de verificar se havia correlação, e qual a intensidade dessa correlação entre as variáveis (temperatura, umidade relativa e precipitação) com a umidade de equilíbrio, utilizou-se o software Minitab 2018, que através das médias mensais das variáveis temperatura (TEMP), umidade relativa (U.R) e precipitação (PRECIP), verificou a correlação destas com a umidade de equilíbrio na tentativa de mostrar qual possuía a maior influência sobre ela.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE 1998 A 2017

Nota-se na Tabela 1 que todos os meses do ano possuem umidade relativa acima dos 76%, enquanto que a temperatura se encontra acima dos 26°C.

Tabela 1. Médias das Temperaturas, Umidades Relativas e Umidades de Equilíbrio do ambiente, Máximas e Mínimas dos Municípios de Itacoatiara, São Gabriel da Cachoeira (S.G.C.) e Eirunepé entre os anos de 1998-2017.

	ITACOATIARA				S.G.C.				EIRUNEPÉ			
Latitude	03° 08' S				00° 08' S				06° 39' S			
Longitude	58° 26' W				67° 05' W				69° 52' W			
	TEMP.	U.R.	U.E.	PRECIP.	TEMP.	U.R.	U.E.	PRECIP.	TEMP.	U.R.	U.E.	PRECIP.
Janeiro	27,5	85,5	18,2	312,0	27,8	87,3	18,8	295,8	27,4	88,4	19,4	319,4
Fevereiro	26,6	85,4	18,0	334,0	27,8	87,5	18,8	255,6	27,6	87,2	18,8	318,5
Março	26,8	86,1	18,4	449,2	27,8	88,0	19,1	299,4	27,7	87,3	18,8	316,3
Abril	27,6	86,4	18,5	342,3	27,6	88,3	19,3	324,4	27,7	87,2	18,8	278,8
Maio	27,9	85,7	18,2	277,7	27,0	89,7	19,9	372,5	27,1	86,8	18,6	175,3
Junho	28,0	83,2	17,2	153,8	26,7	89,3	19,7	265,6	26,6	86,1	18,3	102,0
Julho	27,6	81,4	16,6	103,6	26,6	88,9	19,5	232,0	26,5	83,8	17,4	65,3
Agosto	28,2	78,3	15,5	67,4	27,2	87,5	18,9	198,9	27,4	82,4	16,8	72,5
Setembro	28,5	77,3	15,2	74,4	27,9	85,8	18,1	178,8	28,0	82,4	16,8	114,2
Outubro	27,8	77,5	15,2	112,5	28,1	86,2	18,3	199,8	28,1	84,7	17,7	195,2
Novembro	28,3	79,8	16,0	121,5	28,2	85,8	18,1	203,2	28,1	86,8	18,6	232,9
Dezembro	26,9	82,6	16,8	239,3	27,9	87,4	18,8	248,8	27,7	87,4	18,9	302,7
Média	27,6	82,4	17,0	215,7	27,6	87,6	19,0	256,2	27,5	85,9	18,2	207,7
Máxima	28,5	86,4	18,5	449,2	28,2	89,7	19,9	372,5	28,1	88,4	19,4	319,4
Mínima	26,6	77,3	15,2	67,4	26,6	85,8	18,1	178,8	26,5	82,4	16,8	65,3
Desv.	0,6	3,5	1,3	126,5	0,5	1,3	0,6	58,5	0,5	2,0	0,9	100,4

T°C – Temperatura (°C); U.R. – Umidade Relativa (%); U.E. – Umidade de equilíbrio (%);
PRECIP. – Precipitação (mm)

Certamente, estes municípios, em função destes dados (umidade relativa do ar e temperatura) apresentem dificuldade em efetuar a secagem natural abaixo da umidade de equilíbrio calculada para cada município. Caso empresas ou empreendedores locais desejem obter uma umidade de equilíbrio ao nível de 10%, por exemplo, eles necessitarão de uma secagem em estufa, pois ao ar livre não será possível chegar a níveis mais baixos que as umidades de equilíbrio calculadas. Quando a umidade e temperatura são elevadas o processo de secagem é lento, porém a madeira tenderá a se estabilizar na umidade de equilíbrio de cada região.

Galvão (1975), estimou a umidade de equilíbrio para várias cidades do Brasil, dentre as cidade estudadas, está Manaus localizada na região Rio Negro/Solimões, no estado do Amazonas, na Tabela 2 observa-se que a média da U.E foi próxima a média da cidade de Itacoatiara que está distante cerca de 270 Km de Manaus, mas também se assemelha as médias de São Gabriel da Cachoeira e Eirunepé.

Tabela 2. Médias de temperatura, umidade relativa e umidade de equilíbrio máximas e mínimas da cidade Manaus (19931 a 1960)

MANAUS			
	TEMP	U.R	U.E
Janeiro	25.9	87.7	19.3
Fevereiro	25.8	87.8	19.3
Março	25.8	88.2	19.3
Abril	25.8	88.5	19.3
Mai	26.4	86.2	18.3
Junho	26.6	83	17
Julho	26.9	79.7	15.9
Agosto	27.5	77.2	14.9
Setembro	27.9	77.5	15.2
Outubro	27.7	79.4	15.5
Novembro	27.3	82.1	16.6
Dezembro	26.7	85.2	17.9
Média	26.65	84.1	17.45
Máximo	27.9	88.5	19.3
Mínimo	25.8	77.2	14.9

T°C – Temperatura (°C); U.R. – Umidade relativa (%); U.E. – Umidade de equilíbrio (%)

Fonte: Adaptado de Galvão (1975)

Segundo Anjos *et al.* (2011) a secagem natural não possibilita chegar a teores de umidades mais baixo, como é o caso de espécies que são utilizadas para a confecção de pisos, lambris e móveis, por exemplo, cujo valor de umidade devem estar abaixo de 14,0%. Jankowsky (1985), estudou o comportamento de quatro espécies diferentes de pinheiro, expostas em ambiente externo sob condições naturais do ambiente e, observou que as quatro espécies ensaiadas apresentaram o mesmo comportamento higroscópico, isto é, tendem a atingir valores de umidade de equilíbrio semelhantes quando expostas às mesmas condições de temperatura e umidade relativa.

Para minimizar as contrações, os inchamentos e outros defeitos da madeira, a umidade final de secagem natural recomendada para Itacoatiara é de 17,0 %, de 19,0 % para São Gabriel da Cachoeira e 18,2 % para Eirunepé, pois são as umidades de equilíbrio médio dessas cidades. Segundo Galvão (1975) secar a madeira a uma umidade diferente da umidade de equilíbrio da cidade onde ela vai ser utilizada, pode ocasionar danos como empenos, instabilidade dimensional e outros. Jankowsky (1985), afirma que a madeira, mesmo após ter passado por um processo de secagem, mantém as suas características de

material higroscópico e continua trocando umidade com o ar que a envolve até atingir um equilíbrio dinâmico com a umidade do ar. Silva *et al.* (2006) acrescenta que há diferença significativa da U.E entre cidades, demonstrando que o comportamento destes produtos é diferente em função da localidade, o que sugere que as indústrias devem atentar a este fato, evitando assim possíveis problemas destes produtos em serviço.

3.2 INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS UMIDADE RELATIVA DO AR, TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO NA UMIDADE DE EQUILÍBRIO.

Foi analisado para cada cidade, a correlação da umidade de equilíbrio (U.E.) com as demais variáveis umidade relativa (U.R), precipitação (PRECIP), e temperatura (TEMP) conforme pode ser verificado na Tabela 3. Observa-se que para as três cidades, que a umidade relativa mostrou uma correlação forte, significando que a U.R. exerce bastante influência na U.E. Observa-se que a temperatura mostrou não haver tanta significância com a umidade de equilíbrio, mas isso pode ser explicado pelo fato da temperatura não entrar diretamente na fórmula principal de Simpson, a temperatura tem uma atuação de forma secundária no cálculo das constantes por isso, pode ter essa baixa correlação com a U.E.

Apesar de estatisticamente a temperatura não ter influência na U.E nos municípios estudados, Santini e Haselein (2002) afirmam que a taxa de secagem tem uma relação diretamente proporcional com a temperatura.

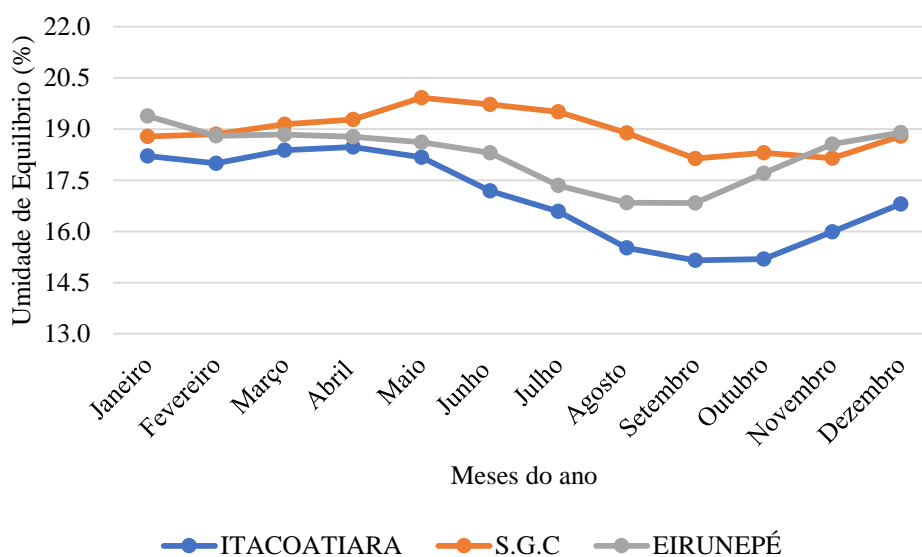
Ao se analisar a precipitação, verifica-se que apenas Itacoatiara mostra maior tendência a se correlacionar com a U.E., diferentemente dos outros dois municípios. Essa correlação é explicada por Pinto (2012), que esclarece que a temperatura proveniente da superfície do oceano Atlântico e o Pacífico, tem uma relação direta na variação de temperatura e precipitação nas regiões ao longo da bacia amazônica no período de El Niño. Assim, provavelmente, o El Niño pode estar influenciando na umidade de equilíbrio do ambiente, devido as variações no clima por ele ocasionado, onde para algumas cidades a precipitação pode ser um fator que influencie diretamente na umidade de equilíbrio, enquanto para outras cidades esse fator não tem tanta interferência no ambiente.

Tabela 3. Correlação da U.E com as variáveis U.R, TEMP. e PRECP.

MUNICÍPIOS	U.R.	TEMP	PRECP.
Itacoatiara	0.997554	-0.61625	0.90262
S. G. da cachoeira	0.999377	-0.8436	0.73604
Eirunepé	0.999015	0.079848	0.849938

3.3 VARIAÇÃO MENSAL DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DO AMBIENTE.

Na Figura 2 é possível observar a variação média da umidade de equilíbrio no decorrer do ano para cada município estudado. Percebe-se que os municípios de Itacoatiara e Eirunepé possuem quase a mesma dinâmica, já São Gabriel da Cachoeira se diferencia um pouco, pois no mês de abril onde a umidade começa cair nos outros dois municípios, para São Gabriel da Cachoeira continua se elevando até o mês seguinte (maio).

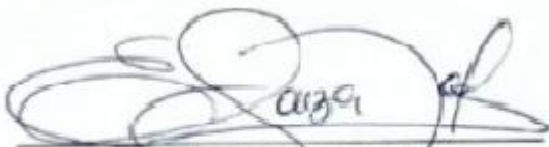
Figura 2: Variação da Umidade de Equilíbrio mensal.

É possível observar também (Figura 2) as diferenças da umidade de equilíbrio entres os municípios estudados. O município de São Gabriel da Cachoeira (Região Rio Negro) apresentou a menor variação nos percentuais da umidade de equilíbrio. Esta variação foi de 18,1% a pouco mais que 19,5%, onde seu valor máximo foi maior que a das cidades de Itacoatiara e Eirunepé. Neste município, o período mais seco (menor umidade de equilíbrio) ocorreu entre os meses de setembro e outubro. Por outro lado, o período mais úmido (maior umidade de equilíbrio) compreendeu os meses de maio a julho.

Com relação ao município de Itacoatiara (Região do Médio Amazonas) nota-se que este apresentou a maior variação da umidade de equilíbrio de 15,2% a pouco a mais de 18,0%. Ao longo desses 20 anos, apresentou o período mais seco (menor umidade de equilíbrio) entre os meses de agosto até outubro e o mais úmido (maior umidade de equilíbrio) nos meses de janeiro até maio.

Observa-se que o município de Eirunepé (Região do Juruá) apresentou variações da umidade de equilíbrio com 16,8% a 19,4%, neste município o período mais seco (menor umidade de equilíbrio) foi nos meses de agosto e setembro e mais úmido (maior umidade de equilíbrio) nos meses de janeiro a junho.

É interessante notar como a umidade ao qual se deve secar a madeira pode variar acentuadamente com o local considerado. Assim, por exemplo, de acordo com a Figura 2, a madeira utilizada em São Gabriel da Cachoeira deve ser seca a 18,1% ao passo que em Itacoatiara pode ser conduzida a um teor mínimo de 15,2%. Portanto, uma diferença de cerca de 2,9% de um local ao outro. Silva *et al.* (s/d), afirma que a secagem ao ar livre alcança valores de umidade da madeira até a de equilíbrio com as condições climáticas locais, recomendando-se que a secagem seja executada na umidade de equilíbrio da região



Prof. Eduardo de Souza Maira
Orientador

onde a madeira será utilizada definitivamente, ou que seja feito, pelo menos, uma aclimação dessa madeira antes de ser utilizada.

CONCLUSÕES

Apesar dos municípios estudados estarem na mesma região (Amazônica), só que em mesorregiões diferentes apresentam diferentes valores de umidade de equilíbrio.

Os meses que apresentam o período mais seco (com menor percentual de umidade de equilíbrio) foram os meses de agosto a outubro.

Dentre as variáveis estudadas (umidade relativa, temperatura e precipitação), a variável que possui maior relação com a umidade de equilíbrio é a umidade relativa.

Como a secagem ao ar livre permite a madeira alcançar valores até a umidade de equilíbrio em função das condições climáticas locais, recomenda-se que estudos futuros sejam realizados a fim de diagnosticar se é alcançada a secagem ao ar livre até os níveis das umidades de equilíbrio encontradas para os três municípios estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Ariel. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. Piracicaba: ESALQ / USP, 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.

ANJOS, Vinícius de Almeida dos. et al. **Caracterização do processo de secagem da madeira nas serrarias do município de Sinop, Mato Grosso**. Mato Grosso: 2011

BARAÚNA, Edy Eime Pereira; OLIVEIRA Valmir Souza. **Umidade de equilíbrio da madeira de angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), guariúba (*Clarisia racemosa* Ruiz & Pav.) e tauarí vermelho (*Cariniana micrantha* Ducke) em diferentes condições de temperatura e umidade relativa**. Tocantins: Acta Amazonica, 2009.

BRAZ, Rafael Leite. et al. **Curva Característica de Secagem da Madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao Ar Livre**. Espírito Santo: Floram, 2015.

DINIZ, Francisco de Assis; RAMOS, Andrea Malheiros; REBELLO Expedito Ronald Gomes. **Normais climatológicas do Brasil 1981–2010**. Brasília: 2010.

ECODEBATE. Disponível em: < <https://www.ecodebate.com.br/2011/03/24/o-fenomeno-el-nino-artigo-de-roberto-naime/> > . Acesso em: 10 de dezembro de 2018.

ELEOTÉRIO, Jackson Roberto; HASELEIN, Clóvis Roberto; GIACOMINI, Nestor Pedro. **Programa para estimativa da umidade de equilíbrio da madeira**. Santa Maria: Ciência Florestal, 1998.

FERREIRA, Luiz Gustavo Batista; CARAMORI, Paulo Henrique, MORAIS, Heverly, NITSCHKE, Pablo Ricardo, COSTA, Ângela Beatriz Ferreira da. **O fenômeno El Niño de 2015/2016 e seus impactos nas chuvas do Paraná**. Paraná:(s/d).

FISCH, Gilberto; MARENGO, José Antônio; NOBRE; Carlos Antônio. **Clima da Amazônia**. Disponível <em: climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html>. Acesso em: 15 nov. 2017.

GALVÃO, Antônio Paulo Mendes. **A umidade de equilíbrio e a secagem da madeira em Brasília**. Brasília: Colombo, 1981.

GALVÃO, Antônio Paulo Mendes. **Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil**. São Paulo: n.11. p. 53-65, 1975.

INMET. Disponível <em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> >. Acesso em: 10 de dezembro de 2018.

JANKOWSKY, Ivaldo Pontes. **Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de *Pinus***. IPEF, v. 31, p. 41-46, 1985. São Paulo: n.31, p.41-46, dez.1985.

JANKOWSKY, Ivaldo Pontes; GALINA, Inês Cristina Martins. **Secagem de madeiras**. São Paulo: 2013.

PINTO, Luís Antônio de Araújo. **Estudo dendrocronológico de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. (SAPOTACEAE) em uma floresta de terra firme da Amazônia central utilizando densitometria de alta frequência**. Manaus: 2012

REBOITA, Michelle Simões; KRUCHE, Nisia. **Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2010 para Rio Grande, RS**. Rio Grande: v. 33, n. 1, 165-179, 2018.

SABER, Aziz N. AB. **Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira**. São Paulo: 2002.

SANTINI, Elio José; HASELEIN, Clóvis Roberto. **Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm.** Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 99-106. 2002

SEVERO, Elias Taylor Durgante. **Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii***. Santa Maria: v.10, n.1, p.109-124, 2000.

SILVA, Graciane Angélica da. et al. **Estimativa da umidade de equilíbrio de painéis de madeira**. Minas Gerais: Lavras, n. 70, p. 23-29, abril 2006.

SILVA, José Reinaldo Moreira da. et al. **Secagem ao ar livre da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de móveis**. Lavras: s/d.

SIMPSON, William. **Equilibrium moisture content prediction of wood**. Forest products journal, p. 48-49, 1971.

SIMPSON, William. **Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models**. Estados Unidos da América: Vol. 5, n. 1, p. 41-49, 1973.

SUSIN, Felipe. et al. **Taxa de Secagem e Qualidade da Madeira Serrada de *Hovenia dulcis* Submetida a Dois Métodos de Secagem**. Mato Grosso: n.21, p. 243-250, 2014.