Agricultura Sintrópica na Bacia do Ribeirão do Feijão: uma proposição a partir dos balanços hídrico e energético na Região

Syntropic Agriculture in the Ribeirão do Feijão Basin: a proposal based on the Region energetic and hydrologic balance

Bruno César dos Santos

Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

Doutorando na EESC/USP

bruno-unifal@hotmail.com

Rafael Perussi

Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

Doutorando na EESC/USP, Brasil

rafaelperussi@usp.br

Diego Narciso Buarque Pereira

Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

Doutorando na EESC/USP, Brasil

diego.narciso@usp.br

Paulo Henrique de Souza

Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental

Prof. Associado na UNIFAL-MG, Brasil

phsouza31@hotmail.com

Resumo

A agricultura sintrópica faz parte do rol de estratégias propostas para a obtenção de uma conjuntura favorável de existência no planeta Terra onde esteja estabelecida definitivamente a preservação e recuperação dos ecossistemas em paralelo a manutenção da qualidade de vida da população e de suas atividades produtivas que lhe dão sustento e permitem seu desenvolvimento tecnológico. Em face disto, atentando para o comportamento atmosférico no Sudeste brasileiro nos anos de 2014, 2015 e 2016, especificamente na região da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão, verificando como os índices de precipitação e temperatura comprometeram a disponibilidade de água e seu uso pelos diversos processos naturais e antrópicos, uma proposição desse tipo de intervenção é feita para essa área com base no seu balanço hídrico e no balanço energético de alguns cultivares cuidando em destacar sua eficácia. Obviamente as características da bacia supracitada é considerada frente ao modelo proposto de produção de alimentos, cuidando em destacar como o ecossistema da área e suas espécies podem ser beneficiados, assim como a produção de alimentos a partir dos cultivares sugeridos e analisados, a saber, pastagens, cana de açúcar, feijão, milho e abacaxi. Com base nos balanços mencionados, características das plantas e condições da Bacia ficou estabelecida a admissibilidade e a viabilidade da estratégia descrita no presente estudo.

Palavras-chave: precipitação, atmosfera, umidade, viabilidade, ecossistemas.

Abstract

Syntropic agriculture is one of the segments that compose an agenda of strategies proposed to obtain a favorable situation of existence on Earth. The goal is to stablish the preservation and recovery of ecosystems while maintaining the quality of life as well as the productive activities that provide the population's livelihood and allow its technological development. Considering this, an analysis of the atmospheric behavior in Southeastern Brazil in the years of 2014, 2015 and 2016,

specifically in the region of the Ribeirão do Feijão Basin, was applied to verify how the precipitation and temperature rates compromised the availability of water and its use by the region's diverse natural and anthropic processes. Based on the principals of syntropic agriculture, this article proposes and highlights the effectiveness of an intervention based on the region's water balance and on the energy balance of some crops. Certainly, the characteristics of the Ribeirão do Feijão Basin is considered regarding the food production model. The intervention benefits the area's ecosystem, it is containing species, and the food production through the crops suggested and analyzed (pastures, sugar cane, beans, corn, and pineapple.) The acceptability and feasibility of the strategy described by this study is stablished regarding the previously referred balance, plant's characteristics and atmospheric conditions of the basin.

Keywords: precipitation, atmosphere, humidity, ecosystems, syntropic agriculture.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente ocorre um intenso debate em torno das propostas de modelagem econômica voltadas ao equacionamento dos desafios envolvendo a sustentabilidade, particularmente na busca de um desenvolvimento tecnológico e social que se harmonize com a preservação do meio ambiente e manutenção da qualidade de vida da população.

A sociedade, refém da pós-modernidade autoconstruída, vê-se obrigada pela conjuntura que vivencia no momento a rever os paradigmas adotados que regem o desenvolvimento humano e necessitam segundo Guimarães (2001) de urgente correção por se constituírem em “[...] um estilo de desenvolvimento ecologicamente depredador, socialmente perverso, politicamente injusto, culturalmente alienante e eticamente repulsivo”. Um modelo que tem sua origem a partir da transição ecológica inaugurada há 9.000 anos com o advento da Revolução Agrícola, no período Neolítico, posto que a prática agropecuária “transgrediu” leis fundamentais de funcionamento dos ecossistemas como a diversidade, resiliência, capacidade de suporte e equilíbrio (homeostase), impactando permanentemente a ciclagem da energia e matéria no planeta Terra (BENNET, 1976 *apud* GUIMARÃES, 2001).

Em face disto, a Agroecologia desponta como campo do conhecimento, sinalizando um caminho em resposta aos flagrantes desafios da sustentabilidade agrícola, possuindo no presente uma base epistemológica sistematizada por autores de diversos países, na busca por focos e princípios norteadores comuns.

Ainda que a prática agroecológica possa ser encontrada em diferentes pontos da história da agricultura, nas mais diversas realidades geográficas e sociais, ganham preeminência em seu edifício teórico as sistematizações surgidas a partir do início do século XX, particularmente as experiências levadas a efeito na Alemanha, Japão, França e Inglaterra. No Brasil, a Agroecologia vem demandando, há, pelo menos, duas décadas, grande interesse de pesquisadores das diversas áreas que fazem interface com o tema (MONTE, 2013).

Muitas são as contribuições proporcionadas por esse campo do conhecimento humano, sobretudo, nos diversos subcampos que possui e expandem sua relevância auxiliando no equacionamento de diversos problemas. Dentre outros, por exemplo, a análise da dimensão termodinâmica de ecossistemas - por extensão teórica, de agroecossistemas - é tema amplamente desenvolvido, constituindo um dos principais eixos de análise das pesquisas em sustentabilidade física. De igual modo, a Ecologia de ecossistemas, uma subárea da Ecologia, também vem produzindo consistente volume de conhecimento analítico, inclusive com propostas de modelagens voltadas à compreensão da termodinâmica de ecossistemas, aí incluídos os agroecossistemas, assegurando que a produção acadêmica dessa área da Ciência segue avançando para benefício da expansão do conhecimento e do advento de novas estratégias que cooperem com a preservação dos ecossistemas e manutenção da qualidade de vida das pessoas.

2. APROXIMAÇÃO TEÓRICA E CONCEITOS

2.1. Dinâmica e sucessão ecológica

O estudo da dinâmica dos processos coevolutivos resultantes dos sistemas pré-industriais permite verificar surpreendente sofisticação, contrariando os termos “primitivos” e “de subsistência” muitas vezes utilizados para os classificarem, por funcionarem harmoniosamente com os ecossistemas naturais, apresentando, alguns deles, elevada eficiência na produção de alimento por unidade de energia consumida. Uma questão importante para o equilíbrio da vida, sobretudo para a preservação dos ecossistemas que se formam a partir das interações ecológicas.

Segundo Brown e Lomolino (2006) esse desenvolvimento do ecossistema dá-se por meio do mecanismo conhecido como sucessão ecológica que é subdividida em sucessão primária (ou colonização) e sucessão secundária. A primeira modalidade diz respeito ao modo como os seres vivos e decorrentes fatores bióticos iniciam a ocupação de dado ambiente abiótico, como, por exemplo, um derramamento vulcânico recente. Já a segunda, foco do interesse específico deste estudo, configura-se como etapas de recuperação de dado ecossistema frente a um determinado distúrbio ou perturbação, como a queda de uma grande árvore numa floresta madura, arrastando consigo outras árvores menores e abrindo ali uma grande clareira (MONTE, 2013).

Margalef (1997) citado por Walker (2005) sintetizou sua análise sobre a sucessão a partir de sete eixos de possibilidades:

1. Biomassa e produção aumentam ao longo da sequência, mas em taxas diferentes, o que significa uma diminuição da razão entre a produção primária líquida e biomassa;

2. Massa de heterotróficos é aumentada em relação à biomassa total;
3. O comprimento das cadeias alimentares aumenta;
4. Aumento do número de espécies e muitas vezes também da diversidade;
5. Aumento da reciclagem interna de nutrientes, diminuindo a rotatividade;
6. Mecanismos de homeostase se tornam mais eficazes, em parte devido à maior longevidade dos organismos; e,
7. A sequência é, portanto, um processo de auto-organização.

O acúmulo de nutrientes ao longo do processo sucessional ocorre por meio do aumento gradativo no tempo de reposição, uma vez aumentando a ciclagem interna e a biomassa de acúmulo.

Os eventos extremos como incêndios naturais ou manifestações tectônicas que resultam em outros episódios inseridos na dinâmica da paisagem – terremotos, isostasia, tsunamis e erupções vulcânicas também atuam em tempo geológico no modelado terrestre abiótico e biótico.

2.2. Entropia

O princípio da conservação da energia ou da Primeira Lei da Termodinâmica, oferece a perspectiva do Universo como sistema totalizado, onde se sustentam não só as ciências naturais, como também, e, por conseguinte, toda a metafísica científica ocidental. Este princípio estabelece a impossibilidade de se criar ou destruir matéria e energia em termos absolutos, apenas convertidos em suas formas possíveis (MONTE, 2013).

No ano de 1850, o matemático alemão Rudolf Clausius lançou as bases para a formulação da segunda lei da termodinâmica que foi formulada após haver sido introduzido o conceito de entropia que mensura o grau de irreversibilidade de um sistema onde o trabalho pode ser completamente convertido em calor e este em energia térmica mesmo que esta não seja completamente reconvertida em trabalho (CLAUSIUS, 1865). Esse princípio tornou-se um dos vetores-mestre da análise de agroecossistemas, uma vez que possibilita a compreensão da dimensão e dinâmica da perda de energia, matéria e informação de um sistema, tanto física (abiótica) quanto biológica (biótica).

Na agricultura, observam-se grandes variações do grau de entropia quando se leva em consideração as múltiplas tipificações das unidades produtivas. Como exemplo de análise indicativa dos gradientes de entropia em atividades agrícolas destaca-se a possibilidade prática de aplicação de metodologias voltadas ao balanço energético dos sistemas produtivos, revelando índices deficitários dos modelos industrializados.

Estes ensaios, por outro lado, revelam a presença de incremento de recursos energéticos em sistemas produtivos de base ecológica, possibilitado pela otimização da capacidade fotossintética da comunidade vegetal - produtores primários, responsáveis pela manifestação dos mecanismos de

organização e fixação de energia e demais recursos físicos e biológicos, constituindo forma natural de resistência ao movimento entrópico.

Não obstante a lei da entropia encontrar-se firmemente estabelecida desde os séculos XIX e XX, com amplo desenvolvimento em termos instrumentais, já há algum tempo, outro princípio de sentido contrário, vem sendo paralela e historicamente defendido por pesquisadores de distintas áreas científicas, como a Matemática, Física, Biologia, Ecologia e Psicologia, na tentativa de elucidar o fenômeno da tendência dos sistemas vivos em prover, antagonicamente à ação inexorável da entropia, o incremento sistemático no grau de organização e acumulação de energia, matéria e informação em seus fluxos.

Auxiliando na elucidação desse debate, Szent-Györgyi (1977), ganhador do Nobel de Fisiologia em 1937, afirma ser observável uma significativa diferença entre sistemas orgânicos e inorgânicos, reconhecendo a dificuldade que um cientista possui de não acreditar que as leis da física percam aplicação no interior dos sistemas vivos pelo simples fato da lei da entropia não governar os sistemas vivos, concluindo acerca disto que a vida é:

[...] uma força que é capaz de contrariar a tendência universal da matéria para o caos e da energia para a dissipação. A vida sempre mostra uma diminuição na entropia e um aumento na complexidade, em conflito direto com a lei da entropia. (SZENT-GYÖRGYI *apud* DI CORPO, 2013, p. 9)

2.3. Sintropia

Ainda que genericamente descritas pela literatura como sistemas agroflorestais sucessionais, entre outras taxonomias propostas, as contribuições feitas por Ernst Götsch que cooperam com o delineamento do termo sintropia tem alcançado ampla proliferação nos estudos e publicações desenvolvidos acerca deste tema e área do conhecimento (EMBRAPA, 2006).

Em oposição à entropia, a sintropia configura-se como a medida do grau de desorganização de um sistema, sendo o elemento que contribui para o equilíbrio organizacional. Esta definição vale também para a atividade agrícola. A agricultura sintrópica desenvolvida por Götsch envolve conceitos simples e complexos ao mesmo tempo. Simples porque apregoa em sua lógica o trabalho em harmonia com a natureza. Complexos porque, para praticá-la, é preciso se desprender de conceitos tradicionais. Nessa perspectiva, todas as terras do Brasil podem ser recuperadas com a prática da Agricultura Sintrópica (GÖTSCH, 2016).

Pode-se considerar que a análise dos fluxos envolvidos na dinâmica e evolução de ecossistemas/agroecossistemas é a base para a compreensão direta de seu grau de sustentabilidade efetiva. Quando se procede à análise comparada dos sistemas sob intervenção humana – os agroecossistemas – com os sistemas “naturais” de referência local, oportuniza-se o efeito de

contraste necessário à compreensão das possibilidades de ajustes nas estratégias de manejo, perseguindo tomadas de decisão que dirijam os sistemas às condições de equilíbrio relativo, por meio de intervenções focadas no aproveitamento máximo dos recursos biofísicos disponíveis.

Um olhar específico quanto ao fluxo de energia no ecossistema, é encontrado na obra de Odum (1983, p. 09-10), quando estabelece que:

[...] o fluxo de energia ocorre num só sentido; uma parte da energia solar que entra é transformada, e sua qualidade elevada (quer dizer, é convertida em matéria orgânica, uma forma de energia mais concentrada que a luz solar) pela comunidade. [...] A energia pode ser armazenada e depois liberada sob controle, ou exportada [...], mas não pode ser reutilizada.

Relativamente ao fluxo material, o mesmo autor define que:

[...] Contrastando com a energia, os materiais, inclusive nutrientes e a água, podem ser reutilizados inúmeras vezes. A eficiência da reciclagem e a grandeza das importações e exportações de nutrientes variam muito segundo o tipo de ecossistema [...].

Quanto à linearização do processo produtivo agrícola, no sentido da perigosa dependência em relação aos recursos não renováveis em grande escala, Odum (1983, p. 64) traz ao debate a seguinte citação:

O sucesso do homem em adaptar alguns sistemas naturais para o seu uso resultou, essencialmente, do processo de inserir em sistemas vegetais e animais circuitos de trabalho auxiliar derivados de fontes ricas em energia, tais como a energia fóssil e atômica. A agricultura, a silvicultura, a pecuária, a cultura de algas etc., todas utilizam enormes fluxos de energia auxiliar que realizam grande parte do trabalho que, em sistemas anteriores, tinha de ser cumprido pelos próprios organismos. [...] Todo o trabalho de manutenção própria destes organismos providencia-se por novos caminhos, controlados e dirigidos pelo homem, a partir de fontes de energia auxiliar. Num sentido real, a energia para as batatas, a carne e os produtos vegetais da agricultura intensiva vem, em grande parte, de combustíveis fósseis em vez de vir do sol.

Um sistema sintrópico já é pensado para ser organizado e estabelecer ganho energético. Na prática é a busca por um sistema em equilíbrio onde todas as espécies desempenham seu papel. Um eucalipto, por exemplo, não estaria ali apenas para a produção de madeira. Ele gerará matéria orgânica que vai adubar o solo, descompactar e buscar nutrientes em outras camadas para devolver ao solo na parte superior, e, fazer parte de um sistema de interação entre espécies.

Na Agricultura Sintrópica quem gerencia o sistema está constantemente buscando uma sucessão biodiversa acelerando os processos e buscando de alguma forma estabelecer uma floresta produtiva, pois, de maneira geral a Agricultura Sintrópica é uma Agrofloresta, mas nem toda Agrofloresta é Sintrópica. A Agrofloresta pode estar pautada em propostas tradicionais de aplicações de venenos, herbicidas sendo apenas uma possibilidade de consórcio agrícola.

Nesse sentido, o presente estudo analisou o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica e o balanço energético de um sistema de agricultura sintrópica nela inserido em estágio inicial de desenvolvimento para verificar sua situação frente a esse paradigma.

3. OBJETIVOS

Diante da expectativa que o estudo possuiu e embasamento teórico-metodológico, teve por objetivo comparar o balanço de energia da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão no município de São Carlos/SP e de um sistema de agricultura sintrópica em estágio inicial de desenvolvimento nela inserido, permitindo assim verificar se ocorrem perdas sob o parâmetro já aguardado da entropia ou se o paradigma da sintropia se manifesta independentemente do estabelecido pelas leis da Física.

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da área de estudo

Com posicionamento situado entre os paralelos 22°00' e 22°30'S e meridianos 47°30' e 48°00'W, a cidade de São Carlos possui 1.136,907 km² de unidade territorial (IBGE, 2015) e 96% de sua população instalada na área urbana do município (SEADE, 2015). A sudeste da cidade (Figura 1 e 2) encontra-se a Bacia Hidrográfica Ribeirão do Feijão (BHRF), que circunda as cidades Itirapina e Analândia totalizando 22.269,58 hectares (ha) e constituiu objeto de análise desse estudo juntamente com o sistema de agricultura sintrópica em estágio inicial de desenvolvimento.

A bacia do Ribeirão do Feijão pertence à sub-bacia Tietê-Jacaré tem sua nascente no alto do planalto de São Carlos; seu curso médio e alto drena uma região caracterizada por suaves ondulações esculpidas sobre os sedimentos arenosos cenozóicos e residuais da Formação Botucatu. Essa formação possui altos coeficientes de permeabilidade favorecendo a infiltração que ocorre principalmente na área aflorante caracterizada como região de recarga do Aquífero Guarani.

O município de São Carlos localiza-se no interflúvio Tietê/Mogi-Guaçu, com altitudes variando entre 600 a 900m, com vertentes de baixa declividade e formas de relevo predominantes de colinas com topos convexos e tabulares (ROSS; MOROZ, 1997). As unidades geológicas que afloram são: sedimentos clásticos predominantemente arenosos, rochas ígneas basálticas do Grupo São Bento (Mesozóico da Bacia do Paraná), rochas sedimentares do Grupo Bauru (Bacia do Bauru), sedimentos pertencentes à Formação Itaqueri e depósitos correlatados (das Serras de São Carlos e Santana) de idade cretácea e cenozóica (Figura 3), e, pelos depósitos aluvionares associados à rede de drenagem, além dos coluviões e eluviões (CBH-TJ, 2013).

A bacia do Ribeirão do Feijão pertence à sub-bacia Tietê-Jacaré tem sua nascente no alto do planalto de São Carlos; seu curso médio e alto drena uma região caracterizada por suaves ondulações esculpidas sobre os sedimentos arenosos cenozóicos e residuais da Formação Botucatu. Essa formação possui altos coeficientes de permeabilidade favorecendo a infiltração que ocorre principalmente na área aflorante caracterizada como região de recarga do Aquífero Guarani.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo e mananciais de abastecimento

Fonte: Tundisi et al. (2007) *apud* Costa et al. (2013).

Segundo a subdivisão geomorfológica do Estado de São Paulo, a cidade está inserida na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista e das Cuestas Basálticas (CBH-TJ, 2014), com a classe de solos predominante de latossolo roxo, vermelho escuro e vermelho amarelo. Outros tipos de solo presente na região são os podzólicos vermelho amarelo, terra roxa estruturada, areia quartzosa e litossolos (MIRANDA, 2005 *apud* FERRARI, 2012).

Considerado tropical de altitude no domínio de clima Cwa da classificação internacional de Köppen, é caracterizado por verões chuvosos (outubro a março) e invernos secos (abril a setembro) com médias térmicas entre 18°C a 22°C (Figura 4). A precipitação pluviométrica está em torno de 1.500 mm anuais (CEPAGRI, 2015).

Em relação ao balanço hídrico, a tendência do extrato é possuir excedentes nos meses de outubro a maio e déficits entre junho e setembro. A Figura 5 mostra o gráfico com a média mensal do balanço hídrico entre os anos 1987 e 2016.

Figura 2: Localização da Bacia do Ribeirão Feijão

Fonte: Oliveira (2011)

Figura 3: Seção geológica da região de São Carlos

Fonte: Zuquette (1981) apud Costa (2010)

O uso e ocupação do solo é dividido por solo exposto, área urbana, pastagens, mata de cerrado, mata ciliar, áreas de reflorestamento e cultivos agrícolas de cana-de-açúcar e laranja, conforme mostra a Figura 6 e a Tabela 1.

Destaca, por conseguinte, a intensificação do uso e a antropização da paisagem com as consequências inerentes para a fauna e flora, bem como para o meio físico a partir da intensificação dos processos erosivos e interferências no ciclo hidrológico, sobretudo no que tange ao escoamento superficial, infiltração e evaporação.

Figura 4: Gráfico da média mensal da precipitação e temperaturas entre os anos 1987 e 2016

Figura 5: Gráfico da média mensal do balanço hídrico entre os anos 1987 e 2016

Tabela 1: Situação do uso e cobertura do solo da BHRF em 2006

Classe temática	Área ocupada (ha)	% da bacia (T= 22.269)
1. Mata ciliar	2.356,03	10,58
2. Área Urbana	1.087,92	4,89
3. Cerrado	1.289,93	5,79
4. Reflorestamento	2.279,5	10,24
5. Solo exposto	2.855,16	12,82
6. Pastagem	8.624,57	38,73
7. Cana de açúcar	679,62	3,05
8. Laranja	3.083,64	13,85

Figura 6: Mapa de uso e cobertura do solo da BHRF, 2006
Fonte: Cunha (2011)

4.2. Balanço Hídrico

O ciclo hidrológico, mais do que uma simples sequência de processos, constitui-se de um conjunto de fases, as quais representam os diferentes caminhos através dos quais a água circula na natureza. Esta circulação ocorre em três partes do sistema Terra: a atmosfera, a hidrosfera e a litosfera, numa profundidade aproximada de 1 km na litosfera, até cerca de 15 km na atmosfera.

A água da atmosfera (vapor) constitui o volume precipitável. Se o total de vapor atmosférico se precipitasse, a chuva correspondente seria de cerca de 25,5 mm uniformemente distribuída sobre toda a superfície da esfera terrestre. Este reservatório (vapor atmosférico) é repostado continuamente pela evaporação e é descarregado pela precipitação, sendo esta a única fonte renovável de água doce para a superfície. Esse fenômeno natural pode ocorrer na forma líquida e sólida a depender da temperatura e agitação atmosférica.

O balanço da água disponível no solo a partir daquilo que foi precipitado e evapotranspirado/evaporado, conhecido como Balanço Hidrológico, é uma das ferramentas mais usadas para a estimativa da deficiência e do excedente hídrico, da reposição e da retirada da água do solo e da quantidade de água armazenada no mesmo.

O balanço hídrico climatológico, proposto por Thornthwaite e Mather (1955) é uma das estratégias possíveis para monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva (P), demanda atmosférica manifesta pela evapotranspiração potencial (ETP), e, capacidade de água disponível (CAD), o balanço hídrico fornece estimativa da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM).

O balanço hídrico climatológico é mais frequentemente apresentado na escala mensal a partir do valor médio obtido em uma série histórica, ou seja, o balanço hídrico cíclico é elaborado a partir das normais climatológicas medianas de temperatura e precipitação para um dado local. Em face disto, constitui-se em instrumento agrometeorológico útil e prático para caracterizar como se comporta a umidade de um clima, sendo sua utilização indispensável na caracterização climática.

O Balanço Hídrico Climatológico pode ser dado pela seguinte equação:

$$\Delta S(t) = P(t) + I(t) - ET(t) - R(t)$$

A precipitação (P) tem um valor conhecido e responde pela principal entrada de água na bacia. Diante da entrada advinda das chuvas, considerou-se que o termo de ganho referente a Irrigação (I) pode ser desprezado por ter um valor pequeno em relação ao ganho referente a P.

Para calcular o balanço hídrico utilizou-se os dados da estação climatológica localizada no CRHEA-USP na Represa do Lobo, Itirapina-SP, devido à proximidade da BHRF, pesando ainda nessa decisão a confiabilidade e a facilidade de aquisição dos dados que se encontraram atualizados para os anos de interesse. A Figura 7 mostra o gráfico do extrato do balanço hídrico para o triênio 2014-2015-2016.

4.2.1. Balanço Hídrico 2014

O ano de 2014 obteve um total acumulado anual de chuva da ordem de 1.111,9 mm enquanto que a média histórica da série alcança um valor médio de 1.476.1 mm. Nos meses que compõe o semestre hidrológico (outubro a março) os acumulados pluviométricos estiveram praticamente abaixo da média, com exceção dos meses de novembro e dezembro, pois, os meses de janeiro e fevereiro que correspondem ao período do verão apresentaram valores muito abaixo da média esperada (Tabela 2).

Figura 7: Gráfico do balanço hídrico para o triênio 2014-2015-2016

Portanto pode-se observar na figura 7 anterior, que o déficit hídrico foi bem pronunciado entre janeiro a outubro, por conta dos baixos acumulados pluviométricos, apresentando valores negativos em relação com a média esperada do balanço hídrico, com exceção de novembro e dezembro que apresentaram excedente hídrico esperado para os meses.

Segundo Coelho et al. (2016), esse déficit de precipitação na região Sudeste do Brasil, foi devido ao estabelecimento excepcional de um sistema de alta pressão, no caso a ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul, atuando mais ao oeste do oceano Atlântico subtropical. Esse bloqueio

impediu a entrada do fluxo de umidade vindo da Amazônia e dos sistemas frontais para região, desfavorecendo assim a habitual configuração de episódios de eventos de ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Tabela 2: Valores mensais de precipitação em 2014 e a média histórica

2014	Precipitação	Média
Janeiro	106	309,12
Fevereiro	158	201,9967
Março	142,8	158,4767
Abril	70,7	82,13
Maiο	61,5	66,14
Junho	1,5	42,47
Julho	24,4	29,67
Agosto	6,1	32,58
Setembro	84,7	72,64667
Outubro	38,4	113,43
Novembro	165,3	155,96
Dezembro	252,5	211,5533
TOTAL	1.111,9	1.476,173

A ZCAS de acordo com Quadros et al. (2012), é um fenômeno meteorológico caracterizado pela persistência de uma faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), que se estende desde do Centro-Sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, prolongando-se ate sudoeste do Oceano Atlântico, provocando altos totais pluviométricos por vários dias na América do Sul, principalmente nos meses do verão.

A ausência desse sistema atmosférico fez com que as chuvas diminuíssem, repercutindo em diversos setores socioambientais e econômicos. Eventos dessa intensidade tem a capacidade de afetar drasticamente o meio ambiente em diferentes aspectos, como por exemplo, a recarga dos níveis dos rios, o aumento no número de queimadas, mortalidade da fauna dos rios, etc. Além dos problemas ambientais, a seca também gerou um grave problema social, principalmente em áreas que dependiam desse recurso hídrico para fins econômicos como abastecimento de água, desenvolvimento agrícola, indústrias, reservatórios, entre outros, ocasionando um quadro de crise hídrica.

Para Marengo et al. (2015) o verão de 2014 serviu como sinal de alerta para as autoridades públicas graças aos impactos que proporcionou nos setores socioeconômicos, devido à ausência de estratégias voltadas para a administração deste tipo de cenário - medidas mitigadoras - diminuindo a vulnerabilidade da sociedade afetada por eventos dessa natureza – causados pela atuação do anticiclone (bloqueio) por cerca de 45 dias sobre a América do Sul subtropical, um fenômeno sem precedentes desde 1961.

4.2.2. Balanço Hídrico 2015

O ano de 2015 obteve um total acumulado anual de 1562,8 mm de chuva, sendo a média um valor de 1476.1 mm. Já entre os meses do semestre hidrológico (outubro a março) os acumulados pluviométricos foram abaixo da média apenas para os meses de janeiro e outubro (Tabela 3).

Assim pode-se observar na figura 6 um excedente hídrico abaixo da média no mês de janeiro devido aos baixos acumulados pluviométricos ocorridos no mês. Porém, obteve-se um excedente hídrico acima da média para os meses de novembro e dezembro. Embora com menor intensidade e duração, o verão de 2015 apresentou um padrão próximo ao manifesto no verão de 2014, agravando o quadro instalado na área, pois, segundo Marengo et al. (p.38, 2015)

Esse fato, somado ao longo período de estiagem do ano anterior, provocou o ressecamento progressivo da superfície terrestre, estabelecendo um efeito de automanutenção da falta de chuva: a escassa umidade do solo prejudicou o fluxo de umidade para a atmosfera, provocando a diminuição das chuvas, o que, por sua vez, não permitiu o aumento da umidade no solo.

Esse processo foi intensificado novamente pela presença de outro sistema excepcional de alta pressão, que, embora de menor intensidade e persistência que o anterior, contribuiu para a diminuição da precipitação.

Tabela 3: Valores mensais de precipitação em 2015 e a média histórica

2015	Precipitação	Média
Janeiro	146,2	309,12
Fevereiro	228,3	201,9967
Março	205,6	158,4767
Abril	61,9	82,13
Maio	99	66,14
Junho	11	42,47
Julho	51,9	29,67
Agosto	16,3	32,58
Setembro	172,4	72,64667
Outubro	53,5	113,43
Novembro	293,1	155,96
Dezembro	223,6	211,5533
TOTAL	1562,8	1476,173

4.2.3. Balanço Hídrico 2016

O ano de 2016 obteve um total acumulado anual acima da média histórica de 1.476,1 mm, registrando um índice de 1.681,4 mm. Entre os meses do semestre hidrológico (outubro a março) os acumulados foram abaixo da média apenas nos meses de fevereiro e dezembro (Tabela 4), enquanto

que os meses de janeiro, março e outubro apresentaram valores acima da média. Destacando que dentro do período seco (abril a setembro), os meses de maio e junho apresentaram valores excepcionalmente acima da média.

Na figura 6 pode ser observado um excedente hídrico elevado em janeiro que se encontra significativamente acima da média do período, seguido por manifestações menos expressivas. Nos meses do período seco, o excedente hídrico excepcional é assinalado nos meses de maio e junho com os demais mantendo o comportamento habitual.

Ao contrário dos anos anteriores, a precipitação no verão de 2016 esteve acima da média, revertendo a tendência de 2014 e 2015 de estiagem e índices abaixo da média. Essa conjuntura se estabeleceu pela forte atuação de ZCAS e enfraquecimento da ASAS, permitindo que a umidade oriunda da Amazônia e do oceano Atlântico recobrissem a região proporcionando um volume elevado de precipitação em alguns dias seguidos, como ocorreu no mês de janeiro. Com isso, as chuvas favoreceram a recarga hídrica dos corpos d'água. Esse aumento da umidade na atmosfera do Sudeste brasileiro decorreu das massas de ar vindas da Amazônia e do avanço dos sistemas frontais na formação das ZCAS, com isso aumentou a disponibilidade hídrica do solo.

Tabela 4: Valores mensais de precipitação em 2016 e a média histórica

2016	Precipitação	Média
Janeiro	512,9	309,12
Fevereiro	153	201,9967
Março	210,5	158,4767
Abril	11,4	82,13
Maio	146,3	66,14
Junho	158	42,47
Julho	3,4	29,67
Agosto	41,9	32,58
Setembro	30,4	72,64667
Outubro	141,2	113,43
Novembro	150,8	155,96
Dezembro	121,6	211,5533
TOTAL	1681,4	1476,173

4.3. Balanço energético

O espectro de distribuição da radiação solar que chega na superfície terrestre é constituído predominantemente de ondas curtas e a distribuição espacial e estacional dessa radiação é a grande causa dos fenômenos meteorológicos. A radiação solar atua diretamente sobre o desenvolvimento e o crescimento das plantas, e, indiretamente no regime térmico de qualquer sistema terrestre, assim como sobre a evaporação de água pelas superfícies naturais.

A radiação de onda curta, ao interagir com a atmosfera e a superfície, sofre processos de atenuação (absorção, difusão e reflexão), sendo que uma parte do que chega no limite externo da atmosfera atinge a superfície terrestre e tem um percentual absorvido e outro refletido a partir do albedo de cada material/substância atingido – solo, vegetação, construções, água, gelo, etc. Isto estabelece um *balanço de radiação de ondas curtas* (ganhos e perdas). A soma da radiação direta mais a difusa compõe a radiação global que chega à superfície, representando, em média, 52% da radiação solar no topo da atmosfera. Uma fração é refletida pela superfície, determinando que o balanço de ondas curtas (atmosfera + superfície) represente, em média, 48% do valor da radiação solar que atinge o topo da atmosfera. O albedo (coeficiente de reflexão) terrestre médio é de cerca de 35%.

Para cada instante haverá um balanço de radiação que é característico da superfície (solo coberto por vegetação, solo nu, superfície líquida, animal, etc.). Esse balanço de radiação R_n (chamado também de radiação líquida ou saldo de radiação) é composto do balanço de ondas curtas, do balanço de ondas longas e da reflexão da superfície.

Para o cálculo do balanço de energia para as coberturas estudadas na BHRF, foi utilizada a fórmula:

$$J_n = (R_n * r (\%)) + E$$

Onde:

J_n = balanço de radiação

R_n = radiação total incidente

r = é o albedo da superfície

E = energia absorvida

A Tabela 5 mostra o coeficiente de reflexão de algumas culturas propostas para compor um sistema de agricultura sintrópica na BHRF.

As Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12 mostram os gráficos do balanço energético dos principais tipos de cobertura vegetal na BHRF (área florestada e pastagem) e de algumas culturas propostas para utilização em um estágio inicial de implementação de uma agrofloresta (cana-de-açúcar, feijão, milho e abacaxi).

Tabela 5: Coeficientes de reflexão (r) para algumas superfícies.

Superfície	Coef. de Reflexão (r, %)	Superfície	Coef. de Reflexão (r, %)
Água	5	Trigo	24
Areia seca	35 a 45	Feijão	24
Areia úmida	20 a 30	Tomate	23
Solo claro seco	25 a 45	Abacaxi	15
Solo cinza	10 a 20	Sorgo	20
Solo escuro	5 a 15	Videira	18
Gramado	20 a 30	Floresta	10 a 15
Algodão	20 a 22	Nuvens	50 a 90
Alface	22	Animal de pelo preto	10
Milho	16 a 23	Animal de pelo vermelho	18
Arroz	12	Animal de pelo amarelo	40
Batata	20	Animal de pelo branco	50

Fonte: Adaptado de Vianello e Alves (1991)

Figura 7: Balanço energético para área florestada na BHRF. **Figura 8:** Balanço energético para área coberta por pastagem na BHRF.

Figura 9: Balanço energético para área coberta por cana-de-açúcar na BHRF.

Figura 10: Balanço energético para área coberta por feijão na BHRF.

Figura 11: Balanço energético para área coberta por milho na BHRF.

Figura 12: Balanço energético para área coberta por abacaxi na BHRF.

Conforme é possível observar nas figuras, não obstante ao mesmo comportamento da radiação ao longo do ano, as culturas apresentam ligeira diferenciação nos três quesitos considerados na avaliação da pesquisa, a saber, radiação refletida e radiação absorvida, comprovando, por conseguinte, a avaliação que deve existir sempre que há uma intervenção no espaço, pois, mesmo no que tange ao grau de energia, fica perceptível a desigualdade que pode ser registrada até mesmo entre as plantas, como se a característica de cada qual resultasse num índice específico à semelhança daquilo que se verifica quando se mede o albedo dos diferentes tipos de superfície frente aos raios solares recebidos.

4.4. Uma agricultura sintrópica na Bacia do Ribeirão Feijão

Dentro do conceito de sintropia na agricultura citado anteriormente, os sistemas agroflorestais que não possuem adição de elementos externos podem ser considerados como um sistema sintrópico. Nesse sentido, pode-se propor a implantação de um sistema agroflorestal na região da BHRF utilizando espécies nativas e espécies adaptadas à região, baseando-se nos balanços hídricos e energéticos estudados.

A cobertura florestal da BHRF é composta principalmente por espécies da Mata Atlântica. Alguns cultivares podem ser associados a esta mata com a finalidade de se produzir alimento somente realizando manejo básico, sem adição de qualquer insumo agrícola, sendo que os cultivares selecionados se beneficiarão da floresta que fornecerá matéria orgânica para o solo, proteção ou redução de danos causados por pragas e também favorecerá a retenção da água.

Com base na análise dos balanços hídricos e energéticos na região da BHRF, pode-se verificar que se trata de uma região com estações bem definidas, com verões chuvosos e invernos secos. Nos períodos mais secos, as espécies que sofreriam com a estiagem podem ser consorciadas

com a floresta, evitando o seu estresse e a redução da produtividade pela planta. A análise do balanço energético permite verificar que algumas espécies podem se beneficiar do sombreamento oferecido pela mata.

Pode-se propor o cultivo de bananeiras sob a área florestada, juntamente com outras espécies, como o café, que se desenvolvem bem no estrato sombreado. O abacaxi pode ser cultivado em linha juntamente como milho, na borda da área de mata. Isso fará com que a borda da mata não permaneça muito exposta, formando assim um arredondamento dessa borda, o que evita o estabelecimento de lianas, tipo de plantas escandentes que se fixam nas árvores e as sufocam prejudicando o seu desenvolvimento.

O consórcio de cana-de-açúcar com o feijão também pode ser indicado na região, pois a cana necessita dos meses mais secos para concentrar a sacarose e, após sua colheita, pode ser cultivado o feijão logo na sequência na mesma área, beneficiando-se de um período mais chuvoso, promovendo a fixação do nitrogênio no solo por se tratar de uma leguminosa.

Áreas que ainda possuem solo nu podem ser recobertas por pastagem, que evitará o processo erosivo e contribuirá com a sua descompactação por meio da ação das raízes, fornecendo também matéria orgânica para compor o horizonte O.

Diante disto, constata-se a viabilidade do sistema sintrópico pelos benefícios que proporciona à área abrangida pela iniciativa, favorecendo a preservação da vegetação nativa e sua reconstituição em paralelo ao cultivo da terra e a geração de alimento e renda para o proprietário.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposição de uma agricultura sintrópica soma-se ao elenco de ações harmonizadoras que procuram estabelecer uma nova conjuntura na relação da humanidade com o meio ambiente onde este possa ser preservado e recuperado de toda degradação causada pelas diversas atividades antrópicas, enquanto aquele tem salvaguardada sua qualidade de vida e o funcionamento de seu modelo produtivo ocupado com a manutenção de toda a sociedade e seu desenvolvimento tecnológico, pois, dado ao tamanho da população do planeta e a dependência que esta possui dos ecossistemas terrestres, não há como defender sua existência sem agir em defesa da natureza.

Para tanto, deve considerar alguns aspectos, como o balanço hídrico da região, assim como o balanço energético das espécies a serem cultivadas, pois, segundo foi possível observar na análise feita sobre o comportamento da atmosfera nos anos de 2014, 2015 e 2016, situações cíclicas ou indicativas de novo reordenamento a partir das mudanças climáticas em curso no planeta podem ocasionar situações situadas fora da habitualidade prevalecente da temperatura e precipitação, prejudicando consideravelmente o suprimento de água para a população e para a recarga dos

recursos hídricos e solos, repercutindo sobre os elementos naturais que organizam a paisagem mesmo que apresente elevado grau de antropização.

Conforme é possível observar, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão possui características, e, por conseguinte, condições que permitem a implantação e desenvolvimento de uma agricultura sintrópica, possibilitando o consórcio de alguns cultivares com a floresta e oferecendo a possibilidade de produzir alimentos ao mesmo tempo em que se mantém a proteção da bacia com a manutenção das matas.

Em face disto, a partir do presente ensaio, uma intervenção dessa magnitude está sendo planejada para ser implementada na Bacia supracitada objetivando avaliar a viabilidade de seu emprego na busca de resultados que referendam o uso desse tipo de estratégia na busca de harmonização entre o Homem e a Natureza, permitindo que a proteção dos remanescentes dos diversos Biomas seja uma conquista definitiva não obstante a manutenção das atividades produtivas que sustentam o volume de seres humanos no planeta e permitem seu contínuo desenvolvimento tecnológico.

Segundo demonstraram os dados apresentados nos balanços energéticos de várias plantas, isso é possível e necessário, sobretudo nesse momento em que o padrão habitual do comportamento atmosférico atravessa um período cíclico ou de reordenamento onde a disponibilidade hídrica fica afetada e passa a comprometer o desempenho dos cultivos.

REFERÊNCIAS

BENNET, J. W. **Ecological Transition: Cultural Anthropology and Human Adaptation**. New York, Pergamon Press, 1976

BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V. **Biogeografia**. 2. ed. Tradução Iulo Feliciano Afonso, Ribeirão Preto/SP: FUNPEC Ed., 2006.

CBH - COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ-JACARÉ. Relatório de situação dos recursos hídricos 2013: Ano base 2012. UGRHI 13 - Bacia hidrográfica Tietê-Jacaré. Araraquara: SIGRH, 2013. p.114. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7476/relatorio-de-situacao-2013-cbh-tj.pdf>> Acesso em Mar, 2013.

CLAUSIUS, R. **Annalen der Physik und Chemie**. Alemanha, v. 125, n. 7, p. 353–400, 1865.

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. Clima dos municípios paulistas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html>. Acesso em jul, 2015.

COELHO, C. A. S. et al.. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Climanálise – Edição Especial de 30 anos**, p. 55-61, 2016.

COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; CESPEDES, J. G.; SILVA, L. F. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. **Geociências**, v.32, n.1, p.63-80, 2013.

COSTA, C. W. **Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre mananciais de São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 142 f., Itajubá, 2010.

CUNHA, R. C. da; **Zoneamento ambiental em bacia hidrográfica utilizada como manancial urbano. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão - São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 99 f. 2011.

DI CORPO, U. **Life Energy, Syntropy, Complementarity and Resonance**. **Syntropy**, v.2, p. 4-38, 2013.

EMBRAPA. **Marco referencial em agroecologia**. Brasília, DF, 2006.

FERRARI, A. L. **Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): Estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2012.

GUIMARÃES, R. A ética da sustentabilidade e a formulação de políticas de desenvolvimento. In: VIANA, G. et al. (Org.) **O desafio da sustentabilidade**. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2001.

GLOBO RURAL. Revista impressa. n 370 Ed. Globo. Agosto, 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Área territorial de São Carlos. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/area.php?nome=S%E3o+Carlos&codigo=&submit.x=37&submit.y=4>> Acesso em mar, 2015.

MARENGO J. A., et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, São Paulo. n. 106, p. 31-44, 2015.

Margalef, R. **Our Biosphere**. O. Kinne, editor. Excellence in Ecology Series. Ecology Institute, Oldendorf, Germany, 1997.

MIRANDA, E. E. Sistemas de gestão territorial para a ABAG/RP. Embrapa – Monitoramento por satélite. Campinas, 2005. Disponível em <http://www.cdbrasil.cnpm.EMBRAPA.br>

MONTE, A.L.Z. **Sintropia em agroecossistemas: subsídios para uma análise bioeconômica**. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável) Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ODUM, E. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983.

OLIVEIRA, J. A. **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2011.

QUADROS M. F. L. et al. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p.152-162, 2012.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000**. Geografia-FFLCH-USP, IPT/FAPESP, São Paulo, vol. 1, 1997.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2001.

SEADE. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Dados censitários de população. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/>> Acesso em Jul, 2015.

SZENT-GYÖRGYI, A. Drive in Living Matter to Perfect Itself. **Synthesis** 1, v. 1, n.1, p. 14-26, 1977.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The Water Balance** - Publications in Climatology. N. Jersey: Centerton, v. 8, n. 1. p. 1-104, 1955.

TUNDISI, J. G. **A Bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso, pesquisa e gerenciamento**. Estudos Avançados 22, 2008.

TUNDISI, J. G. et al. **Uso atual e potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e rural**. Instituto Internacional de Ecologia. FAPESP - Políticas Públicas – Processo 98/10924-3, 2007.

WALKER, L.R. Margalef y la sucesión ecológica. **Ecosistemas**. v. 14, n. 1, 2005.

ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos**. Dissertação (Mestrado) – Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 86 p., 1981.

Trabalho enviado em 26/03/2018

Trabalho aceito em 18/04/2018