



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
MESTRADO ACADÊMICO EM ECONOMIA RURAL-MAER**

POLYANA DA COSTA MATIAS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM ENFOQUE AGROECOLÓGICO EM
AGROECOSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**Fortaleza - CE
2017**

POLYANA DA COSTA MATIAS

Eficiência energética com enfoque agroecológico em agroecossistemas do semiárido
brasileiro

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa do Mestrado Acadêmico em Economia Rural, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Economia Rural.

Linha de Pesquisa: Economia de recursos naturais e política ambiental

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Gamarra Rojas

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M38e Matias, Polyana da Costa.
Eficiência energética com enfoque agroecológico em agroecossistemas do semiárido brasileiro /
Polyana da Costa Matias. – 2017.
70 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Guillermo Gamarra Rojas.
1. Agroecologia. 2. Agroecossistemas. 3. Metabolismo social. 4. Semiárido brasileiro. 5. Retornos de
investimento em energia. I. Título.

CDD 338.1

POLYANA DA COSTA MATIAS

Eficiência energética com enfoque agroecológico em agroecossistemas do semiárido
brasileiro

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa do Mestrado Acadêmico em Economia Rural, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Economia Rural.

Linha de Pesquisa: Economia de recursos naturais e política ambiental

Orientador: Prof. Dr. Guillermo Gamarra Rojas

Aprovada em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Guillermo Gamarra Rojas (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Jorge Luiz Schimer Mattos
Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE)

Julius Blum
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Rogério César Pereira de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

FORTALEZA- CE

2017

“Dificuldades preparam pessoas comuns para destinos extraordinários.”

Autor desconhecido.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre trazer calma nos momentos difíceis.

Aos meus pais, irmãos e cunhada pelo apoio incondicional.

A Rivanildo Junior, por segurar sempre a minha mão nessa jornada.

Às amigas fiéis Auricélia e Patrícia, sempre presentes nas horas alegres e difíceis.

Às amigas Jéssica e Joana, pela companhia de todos os dias.

Aos amigos do MAER, por acrescentarem momentos inesquecíveis à minha vida.

A Guillermo Gamarra, por ser um orientador e ser humano inspirador.

À banca, pela disponibilidade e contribuições.

À Capes, pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa.

RESUMO

Esta pesquisa teve os seguintes objetivos: apresentar a construção de uma base de dados formada por tabelas de conversão de fatores para cálculo de produtividade primária líquida e energia bruta gerada em agroecossistemas da Região Semiárida do Brasil; avaliar o uso das tabelas de conversão fatores para escrituração de biomassa e energia em agroecossistemas do Semiárido do Ceará e; realizar um estudo comparativo de dois agroecossistemas através de Retornos de Investimento em Energia (EROIs) interno, externo, final e agroecológico, dimensionando a sustentabilidade, por meio de parâmetros de eficiência energética. Para isto foi apresentada a elaboração e utilidades da base de dados contendo tabelas de conversão de fatores para biomassa e energia de produtos comumente cultivados no semiárido, baseada na bibliografia nacional e internacional. Constatou-se a necessidade de mais pesquisas sobre as condições de semiárido e percebeu-se uma deficiência de estudos sobre sistemas de manejo orgânico e agroecológico na perspectiva da convivência com o semiárido. As tabelas de conversão de fatores não é um instrumento estático e deve ser ampliada, bem como melhorada a qualidade das informações. A utilização da base de dados para o cálculo de partições de biomassa em agroecossistemas permitiu trazer à luz os complexos fluxos de biomassa e energia nos agroecossistemas estudados. Os EROIs permitiram quantificar o bem-estar produtivo dos agroecossistemas, sendo que a horta orgânica se mostrou eficiente como fornecedora de energia à sociedade através dos EROIS final e externo. A mandala mostrou-se mais sustentável em longo prazo, em virtude de sua maior biodiversidade e preocupação com reinvestimento de energia para manutenção dos fundos de sustentação do agroecossistema. Foi possível perceber este fato através dos EROIs interno, agroecológico e da relação EROI final/ EROI agroecológico. Desta forma, o EROI agroecológico se mostrou eficiente como parâmetro de sustentabilidade. Além disso, o estudo de EROIs permitiu revelar características pouco evidentes nas análises agroeconômicas realizadas anteriormente nesses mesmos agroecossistemas, como é caso do valor para o parâmetro EROI final, que está abaixo da unidade, o que sugere uma necessidade de buscar maior eficiência. Os resultados obtidos apontaram *tradeoffs* entre diferentes atributos agroecossistêmicos e incitaram à realização de estudos multidimensionais e interdisciplinares, incorporando variáveis econômicas, agrônomicas, ecológicas, sociais e políticas.

Palavras chave: Agroecologia. Agroecossistemas. Metabolismo social agrário.

Semiárido brasileiro. Retornos de investimento em energia.

ABSTRACT

The objective of this article was to present the construction of a database formed by factor conversion tables to calculate net primary productivity and gross energy generated in agroecosystems of the Semiarid Region of Brazil; to evaluate the use of conversion factors tables for biomass and energy accounting in agroecosystems of the semiarid region of Ceará and; to carry out a comparative study of two agroecosystems through internal, external, final and agroecological Return on Energy (EROIs), dimensioning sustainability through energy efficiency parameters. The elaboration and utilities of the database containing factor conversion tables for biomass and energy of products commonly cultivated in the semi-arid region, based on regional and international bibliography, are presented. It was verified the need for more research on semiarid environment conditions and a deficiency of studies on organic and agroecological management systems was perceived. The factor conversion tables are not a static tool and should be broadened as well as improved their information quality. The use of the database for the calculation of biomass partitions in agroecosystems allowed bringing to light the complex biomass and energy flows in the studied agroecosystems. EROIs allowed quantifying the productive welfare of agroecosystems. The organic field proved to be efficient as a supplier of energy to society through the final and external EROIS. The mandala was more sustainable in the long term, due to its greater biodiversity and concern for the reinvestment of energy for the maintenance of agroecosystem sustainability funds. This was possible to be perceived through the internal EROIs, agroecological and the EROI final / EROI agroecological relationship. In this way, the agroecological EROI is an efficient parameter of sustainability. The study of EROIs allowed to reveal characteristics that were not evident in the agroeconomic analyzes carried out previously in these same agroecosystems, as is the case for the value for the final EROI parameter to be below the unit, suggesting the need to seek greater efficiency. The results show tradeoffs between different agroecosystem attributes and encourage multidimensional and interdisciplinary studies, incorporating economic, agronomic, ecological, social and political variables.

Keywords: Agroecology. Agroecosystems. Social metabolism. Brazilian semiarid Region. Energy return on investment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Produção agrícola em mandala no município de Quixeramobim, Ceará, no ano de 2013.....	44
Tabela 2 –	Produção agrícola em horta orgânica no município de Pentecoste, Ceará, no ano de 2015.....	44
Tabela 3 –	Produtividade primária líquida em mandala no município de Quixeramobim, CE.....	46
Tabela 4 –	Produtividade primária líquida em horta orgânica no município de Pentecoste, CE.....	47
Tabela 5 –	Energia bruta em mandala no município de Quixeramobim- CE.....	48
Tabela 6 –	Energia bruta em horta orgânica em Pentecoste- CE.....	49
Tabela 7 –	Distribuição da biomassa vegetal e energia bruta em mandala no município de Quixeramobim, CE.....	50
Tabela 8 –	Distribuição da biomassa vegetal e energia bruta em horta orgânica em Pestecoste, CE.....	51
Tabela 9 –	Entradas externas e quantidade de energia em mandala em Quixeramobim, CE.....	53
Tabela 10 –	Entradas externas e quantidade de energia em horta orgânica no município de Pentecoste, CE.....	53
Tabela 11 –	Fluxos totais de energia na mandala em Quixeramobim, CE no ano de 2013.....	54
Tabela 12 –	Fluxos totais de energia na horta orgânica no município de Pentecoste, CE no ano de 2015.....	54
Tabela 13 –	Retornos de Investimento em Energia em mandala e em horta orgânica nos anos de 2013 e 2015, respectivamente.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição metodológica da construção da tabela de conversão de fatores.....	29
Quadro 2 – Descrição metodológica do uso da tabela de conversão de fatores.....	32

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxos de biomassa e energia em agroecossistemas.....	33
Figura 2 – Tabelas referentes à descrição das espécies cultivadas e suas respectivas formas de manejo.....	37
Figura 3 – Tabelas referentes à produção de biomassa fresca e seca de plantas e produtos por hectare dos cultivos.....	38
Figura 4 – Extrato da tabela de conversão de fatores que apresenta a produção de biomassa de resíduos por hectare nos cultivos.....	39
Figura 5 – Extrato da tabela de conversão de fatores que apresenta a quantidade de energia bruta contida em um quilo de matéria seca dos cultivos.....	40
Figura 6 – Tabela de produção de biomassa plantas espontâneas por hectare e seu valor energético potencial.....	41
Figura 7 – Tabela de produção de biomassa e energia bruta produzida em um quilo de biomassa animal e seus resíduos.....	42
Figura 8 – Tabela de produção de biomassa e energia bruta produzida em um quilo de biomassa animal e seus resíduos.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Metabolismo social.....	17
3.2 Agroecossistemas.....	20
3.3 Agricultura sustentável.....	22
3.4 Biomassa no semiárido brasileiro.....	23
3.5 Fluxos energéticos e sustentabilidade em agroecossistemas.....	26
3.6 Retornos de investimento em energia (EROIs).....	29
4 METODOLOGIA.....	32
4.1 Construção das tabelas de conversão de fatores.....	32
4.2 Uso das tabelas de conversão de fatores.....	36
4.3 Uso das partições de biomassa para cálculo de Retornos de Investimento em Energia.....	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1 Tabelas de conversão de fatores.....	42
5.1.1 Estrutura e funções das tabelas.....	42
5.1.4 Dificuldades e limitações na construção das tabelas de conversão de fatores.....	48
5.2 Aplicação da metodologia de conversão de fatores a dois agroecossistemas no semiárido cearense.....	48
5.3 Retornos de Investimento em Energia.....	57
6 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento do capitalismo, a humanidade criou tecnologias que possibilitaram a produção em massa de produtos industriais e alimentícios. O uso de combustíveis fósseis foi intensificado, o que causou um incremento em produtividade nos mais variados setores da atividade humana, principalmente com o aumento da produção agrícola pelo uso de máquinas, fertilizantes, variedades de plantas melhoradas e desenvolvimento da indústria. Silva e Guerra (2009 *apud* Camioto; Rabellato, 2014) afirmam que o uso destes combustíveis tem movido a economia mundial, sendo a energia um dos componentes essenciais para o desenvolvimento social e econômico de uma nação, e seu suprimento é um pré-requisito fundamental às atividades humanas.

Entretanto, o crescimento de produção, ocorrido pelo uso dessas tecnologias, também gerou externalidades negativas com diversos impactos ambientais negativos. (MOREIRA, 2011). O aumento das temperaturas globais e mudanças nos regimes hídricos podem causar o esgotamento dos recursos naturais e perda da biodiversidade, trazendo riscos à segurança alimentar mundial. Os sistemas agrícolas em todo o mundo estão sendo degradados severamente pela erosão do solo, salinização e poluição água.

Em um período de mudanças climáticas, principalmente o aumento da temperatura terrestre, conhecido como aquecimento global, e restrições cada vez maiores nos níveis de exploração ambiental, como o acesso a fontes de energia, faz-se importante focar o desenvolvimento das nações na direção de uma economia sustentável econômica, ecológica e socialmente.

Neste sentido, o presente trabalho tem como intuito fazer a descrição e contabilização de fluxos de materiais com utilização dos métodos de análise do metabolismo social agrário e eficiência no uso de energia. Essa abordagem enfatiza a comparação do nível de sustentabilidade energética em agroecossistemas. O estudo empírico foi feito com agroecossistemas existentes no Semiárido Brasileiro, região onde uma grande parcela da população sobrevive nos meios rurais através de formas de agricultura muitas vezes precárias e pouco eficientes.

A abordagem da análise do metabolismo social agrário permite revelar padrões de sustentabilidade para a gestão de agroecossistemas, tendo os fatores

“segurança alimentar” e “eficiência energética” como forte preocupação para a manutenção da qualidade de vida das gerações presentes e futuras. A agricultura tem utilizado níveis crescentes de insumos modernos que implicam em um uso cada vez maior de energia, principalmente combustíveis fósseis.

A análise de sustentabilidade a partir de balanços energéticos tem sido utilizada como importante ferramenta de diagnóstico de um sistema produtivo em nível de propriedade, comunidade ou até mesmo país. Chechetto, Siqueira e Gamero (2010), Souza *et al.* (2008), Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior. (2009) e Santos e Lucas Junior (2004) fizeram uso de fatores de conversão em energia. Tabelas e bases de dados de conversões de fatores são necessárias para auxiliar os pesquisadores nesses estudos. Para o Brasil, em particular para o semiárido brasileiro, os trabalhos nesta área são praticamente inexistentes. Somado a isto, dados a respeito de coeficientes energéticos são indisponíveis. (CAMPOS; CAMPOS, 2004).

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo construir uma base de dados dos parâmetros dos agroecossistemas, por meio de levantamento bibliográfico com a finalidade de subsidiar a contabilização de fluxos de energia e materiais. Esses parâmetros são utilizados para construir o perfil metabólico de agroecossistemas e para o cálculo dos fatores de conversão energética.

A base de dados tem o intuito de quantificar a produção de biomassa em diferentes tipos de cultivos e agroecossistemas, com ênfase no semiárido brasileiro, através do uso de dados e informações obtidas em pesquisas na bibliografia nacional, realizadas em campos experimentais de Universidades no território nordestino, principalmente para realização de artigos publicados em periódico, dissertações e teses, assim como bibliografias internacionais, quando as informações necessárias não estiveram disponíveis no primeiro caso.

O estudo tem como foco os cultivos e criações de animais tipicamente utilizados em propriedades rurais no semiárido brasileiro. Essa base de dados resultante do presente trabalho pode ser utilizada, ampliada e/ou adaptada por qualquer pesquisador que deseja emitir um diagnóstico da saúde produtiva de um agroecossistema, assim como comparar agroecossistemas e sistemas agrários diversos no parâmetro sustentabilidade em estudos similares na mesma região.

O estudo apresenta a descrição e análise da abordagem utilizada para a base de dados e sua aplicação em dois agroecossistemas típicos do Semiárido. Para isto, foram calculadas a biomassa aérea e subterrânea total produzida nos mesmos, e sua

conversão em matéria seca e unidade de energia bruta, desta forma podendo esclarecer o papel e a utilização dos fluxos de energia e materiais dentro do sistema.

Também foi feito o uso da metodologia denominada Retorno de Investimento em Energia (EROIs) agroecológicos, a fim de contrastar perfis de energia de sistemas agrícolas no estado do Ceará, a partir da contabilidade de fluxos e cálculo de partições de biomassa realizada anteriormente. Os EROIs permitem dimensionar a eficiência energética dos dois agroecossistemas estudados, comportando-se como uma proxy de padrões de heterogeneidade de paisagem e de biodiversidade. Tais resultados podem contribuir ao desenho de sistemas mais sustentáveis e subsidiar estudos, programas e políticas públicas agrícolas e rurais.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo geral realizar um estudo comparativo de dois agroecossistemas através de Retornos de Investimento em Energia (EROIs) interno, externo, final e agroecológico, a partir da escrituração de biomassa, a fim de elucidar os tipos de utilização e reutilização de energia, dimensionando a sustentabilidade por meio de parâmetros de eficiência energética.

Seus objetivos específicos são: apresentar e descrever a construção de uma base de dados formada por tabelas de conversão de fatores para cálculo de produtividade primária líquida e energia bruta gerada em agroecossistemas para cultivos e criações de animais, amplamente utilizados na região semiárida do Brasil, de modo a permitir seu uso em estudos envolvendo fluxos de biomassa e energia nesse ambiente; avaliar o uso das tabelas de conversão fatores para escrituração de biomassa e energia em um agroecossistema de Mandala e uma horta orgânica no semiárido cearense, por meio da quantificação dos fluxos de energia e; calcular os Retornos de investimento em energia para cada agroecossistema estudado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este estudo propõe, portanto, uma abordagem distinta para a mensuração da eficiência energética nos agroecossistemas, que seja complementar a métodos tradicionais, no qual se enfatiza o enfoque agroecológico. Nesta abordagem pretende-se revelar as relações entre os elementos internos do sistema, essenciais na renovação dos principais componentes que proporcionam apoio e regulação a serviços ecológicos, direta ou indiretamente relacionados à biodiversidade: fertilidade do solo, controle de pragas e doenças e polinização.

3.1 Metabolismo social

As sociedades humanas, independentemente das suas condições ou níveis de complexidade, não existem em um “vácuo” ecológico, mas afetam e são afetadas pela dinâmica, ciclos e impulsos da natureza. Natureza esta definida como aquela que existe e reproduz-se, independente da atividade humana, mas ao mesmo tempo representa uma questão de mais elevada ordem. Isto implica o reconhecimento de que os seres humanos organizados em sociedade reagem, não só aos processos de natureza exclusivamente social, mas também são afetados por fenômenos naturais. (TOLEDO; MOLINA, 2007).

As trocas materiais feitas por seres humanos com a natureza e entre si têm sido estudadas a partir de diferentes ângulos por duas disciplinas: a ecologia e a economia. Enquanto a ecologia toma o ser humano como uma espécie biológica, ou seja, parte da natureza, a economia o faz sob o reconhecimento implícito de que o homem é um ser social. Assim, a ecologia tem como foco o seu interesse nas trocas materiais que os seres humanos realizam com o universo natural (seus sistemas, processos ou elementos), enquanto a economia o faz nas trocas feitas pelos homens entre si para além do campo da biologia. (TOLEDO, 2008).

Segundo Guzmán e Molina (2005), servindo-se de elementos do pensamento de Marx, no desempenho das suas atividades, os seres humanos consomem dois fatores: primeiro frações ou partes da natureza "socializada"; do outro, a sociedade "naturalizada", por produzir e reproduzir as suas ligações com o universo natural. Durante este processo geral de metabolismo, uma situação de determinação recíproca entre sociedade e natureza é estabelecida, porque a forma como os seres humanos se organizam em sociedade determina como elas afetam, transformam e se adéquam à natureza que, por sua vez, determina como as sociedades são configuradas.

O autor afirma que ambos os aspectos da troca de material que, à luz destas abordagens, aparecem como separadas, estão inextricavelmente ligados uns aos outros em termos concretos no processo pelo qual a humanidade produz e reproduz suas condições materiais, ou seja, no metabolismo entre sociedade e natureza e, mais especificamente, no ato de apropriação.

Toledo (2013) classifica o metabolismo entre natureza e sociedade como contendo duas dimensões ou esferas: uma física, visível ou tangível e outra intangível ou invisível. O metabolismo social começa quando os seres humanos agrupados se apropriam de “materiais sociais” e energias da natureza (entrada) e termina quando são depositados resíduos em áreas naturais (saída), tendo também fluxos internos onde ocorrem novas utilizações para produtos e resíduos. O processo metabólico é representado por cinco fenômenos:

- **apropriação:** principal forma de intercâmbio entre a sociedade humana e a natureza. A partir desses fluxos, a humanidade fundamenta-se em todos os materiais, energia, água e serviços de que os seres humanos necessitam para se manter e se reproduzir como organismos biológicos (energia endossomática¹) e como um grupo social (energia exossomática²). Este processo é sempre feito por uma unidade de propriedade, podendo ser uma empresa (pública ou privada), uma cooperativa, uma família, uma comunidade ou um único indivíduo.
- **transformação:** envolve todas as alterações nos produtos da natureza que não são consumidos na sua forma original. Em suas formas mais simples, inclui as formas básicas de preparação de alimentos (por exemplo, cozinhar vegetais ou animais no fogo), e nas suas formas elaboradas, a transformação da matéria (metalurgia, indústria nuclear, biotecnologia, indústria petroquímica, nanotecnologia, etc.). Ao longo do tempo, o processo de transformação tem se tornado, gradualmente, uma atividade mais complexa, menos intensiva em trabalho e mais intensiva em energia.
- **circulação:** os elementos retirados da natureza, em seguida, passam a circular na economia, modificados ou não e, no curso da história, não só aumentam os volumes do que circula, mas as distâncias que percorrem antes de serem consumidos. As mudanças nos padrões de comunicação territorial,

1 Energia endossomática: Chega ao ser humano através de cadeias ecológicas. (MARTINEZ-ALIER, 1998).

2 Energia exossomática: Energia de origem mecânica de materiais desenvolvidos pelo homem (MARTINEZ-ALIER, 2000).

alcançadas por meio de formas cada vez mais eficientes de transporte (humana, animal, pluvial, marinha, aérea, etc.) foram ampliando o seu raio de influência e velocidade. O resultado tem sido uma intrincada rede de trocas, intimamente ligada ao processo de transformação.

➤ consumo: a sociedade inteira está engajada no consumo, independentemente da sua posição na cadeia metabólica. Este processo pode ser observado historicamente a partir da relação entre as necessidades humanas e sociais, além de ser determinado pela satisfação fornecida através dos três primeiros processos.

➤ excreção: é o ato pelo qual a sociedade humana lança materiais e energia na natureza (incluindo lixo, fumaça, gases, substâncias e calor), em que toda a sociedade e todos os processos metabólicos também estão envolvidos. As duas questões básicas a considerar aqui sobre os resíduos são: a qualidade (se eles são recicláveis ou não pela natureza) e a quantidade (se excedem ou não a capacidade natural para a reciclagem) dos resíduos.

As sociedades articulam-se através desses cinco processos metabólicos, em conjunto com as relações sociais que as formam para dar continuidade a suas atividades ao longo do tempo no atendimento das suas necessidades básicas e culturais. O desafio da pesquisa consiste, então, em entender como se dão as interações entre os processos metabólicos e seus aspectos econômicos, ecológicos e sociais.

Dentro do processo de apropriação é onde está inserida a produção rural propriamente dita, onde os seres humanos se apropriam diretamente dos meios de produção brutos para transformá-los em produtos socializáveis, sendo ela o ato fundamental que distingue o meio rural. A apropriação é o processo onde o ser humano extrai materiais e energias da natureza para utilizar como matérias-primas em processos industriais, ou para consumo direto pelos seres humanos. (TOLEDO; ALARCÓN-CHAIRES; BARÓN, 2002).

No caso de sociedades menos complexas, as parcelas da sociedade realizam diversos papéis dentro do metabolismo social. Já em sociedades modernas e altamente divididas hierarquicamente, é possível perceber a divisão entre os papéis destes atores sociais, sendo o processo de apropriação realizado por divisões sociais definidas.

Pode-se perceber que, na verdade, a forma como os seres humanos se organizam e produzem determina a forma como ocorrem as transformações na natureza. Esse processo é melhor entendido com base nos ensinamentos da História, da

Antropologia, Sociologia e de outras ciências humanas, pois a Agronomia e a Ecologia, de forma isolada, não são suficientes para a compreensão destes fenômenos relacionados à sustentabilidade. (CAPORAL, 2009).

Em conformidade com estes conceitos, é possível compreender que os estudos dos metabolismos natureza-sociedade não tratam de relações abstratas, mas de problemas reais da sociedade atual, onde a agricultura industrializada gera cada vez mais emissões de dióxido de carbono, responsável pelo aquecimento global e lança doses abissais de resíduos contaminantes no solo e na água, o que acarreta mudanças no equilíbrio ecológico do planeta, além de problemas de saúde para os membros da comunidade.

3.2 Agroecossistemas

Diversos estudos a respeito da trama metabólica social têm sido feitos com base na quantificação de fluxos de materiais e energia, com ênfase no desenvolvimento social, crescimento econômico e meio ambiente, tais como: Capellesso e Cazella (2012), Souza *et al.* (2008) e Campos e Campos (2004). Esses estudos, além de ligar fluxos de materiais e energia a parâmetros econômicos e impactos ecológicos, também vêm sendo usados para avaliar os fatores em escala de comunidade e agroecossistemas.

O sistema agrário é definido pela agregação das produções e das técnicas utilizadas por uma sociedade com vistas a satisfazer suas necessidades. Ele exprime a interação entre um sistema bioecológico e um sistema sociocultural, por intermédio das práticas adquiridas principalmente por meio da experiência e do saber técnico. Nesta abordagem, a economia, socioeconomia, geografia, história e agronomia são utilizadas conjuntamente para conceber projetos de desenvolvimento, tornando este conceito uma poderosa ferramenta com a qual é possível distinguir e hierarquizar dificuldades do desenvolvimento. (MIGUEL, 2009).

Lima e Gamarra-Rojas (2017) e Gamarra-Rojas, Silva e Vidal (2016) confirmaram a importância de abordagens de análises sistêmicas como forma de interpretar o contexto histórico, identificação cultural e objetivos almejados pelos agricultores para, assim, construir projetos integradores e eficientes de desenvolvimento.

A teoria de sistemas, de acordo com Bertalanffy (1968), fornece uma abordagem que permite estudar a interação entre as ciências naturais e sociais, passando pelos campos físicos e não físicos, os quais têm como princípio fundamental o conceito

de holismo, a fim de entender os fenômenos particulares dentro de fenômenos que ocorrem de forma global. Conway (1985) e, posteriormente, Altieri (1989) e Gliessman (2001) adaptaram estes conceitos, unindo-os a conceitos da ecologia, permitindo a utilização para compreensão de sistemas agrícolas, criando o termo agroecossistemas.

Agroecossistema é definido como um lugar de produção agrícola percebido como um ecossistema, um sistema funcional de relações complementares entre organismos vivos e seu meio. O conceito de agroecossistema proporciona uma estrutura com a qual se pode analisar os sistemas de produção de alimentos como um todo, incluindo seus conjuntos complexos de insumos e produção e as interconexões entre as partes que os compõem. (KOOCHKEI; GLIESSMAN, 2005).

Estes sistemas geridos por sociedades humanas têm como finalidade a obtenção de alimentos para as pessoas e animais, bem como outros recursos, como madeira ou fibra. Recentemente, tem sido sugerido que a sociedade também depende dos serviços ambientais providos pelos ecossistemas, tais como a polinização, controle de pragas e manutenção da própria biodiversidade. (PLAZA, 2013).

O ecossistema cultivado, sendo um sistema aberto e funcional onde organismos vivos, seus ambientes e a sociedade mantêm uma relação complementar, possui uma organização. Por exemplo, o agroecossistema pode ser composto por subsistemas, tais como as hortas, as terras cultiváveis, as pastagens e as florestas. Cada um desses subsistemas é estruturado, cuidado e explorado de uma maneira particular, e contribui, por sua vez, para a satisfação das necessidades dos animais domésticos e dos homens. (MAZOYER; ROUDART, 2010; MEADOWS, 2009). Os vários tipos de exploração dos recursos correspondem aos sistemas produtivos adotados pelo agricultor. A partir da interação destes sistemas produtivos com o sistema social, de acordo com o objetivo do agricultor, temos a unidade de produção agrícola. (MIGUEL, 2009).

Um agroecossistema deve ser analisado levando em consideração as atividades a montante, que lhe fornecem os meios de produção; o que é feito de seus produtos pelas atividades a jusante e pelos consumidores; e outros sistemas agrários concorrentes, pois eles também colaboram para satisfazer as necessidades da sociedade. (MAZOYER; ROUDART, 2010).

Por ser uma construção intelectual, o agroecossistema não deve ser tomado como divisões de um processo histórico dinâmico e complexo, mas sim como uma tentativa de colocar em destaque aspectos conjunturais de um dado momento que

possam inferir uma análise abrangente do processo de desenvolvimento local: as propriedades emergentes existentes nos sistemas em momentos específicos da análise. (KRAEMER, 2012).

3.3 Agricultura sustentável

Glavic e Lukman (2007) apresentaram o conceito de produção agrícola sustentável como sendo a criação de bens através de processos e sistemas que são não poluentes, conservam energia e recursos naturais de forma economicamente viável, “segura” e “saudável” para agricultores, trabalhadores, comunidades e consumidores e que são socialmente e criativamente gratificantes para todas as partes interessadas no curto e longo prazo.

O trabalho humano direcionado a captar energia solar para produzir biomassa é a base funcional de todas as sociedades, porém, normalmente apenas uma parcela de biomassa é quantificada em estudos, aquela que é comercializada, ignorando a fração da mesma que recircula no agroecossistema, a qual tem a função de manter diversos subsistemas ou ecossistemas secundários e organismos heterotróficos, fundamentais para a manutenção da atividade agrícola.

Um crescente aumento na quantidade de insumos na agricultura convencional tem possibilitado maior produtividade do trabalho por unidade de área cultivada, entretanto, a quantidade de produto por unidade de energia investida diminuiu. Essa perda de eficiência energética tem forte relação com a adoção de sistemas produtivos intensivos em tecnologias degradantes. Neste sentido, desde o advento do uso da energia fóssil no século XX, estudos passaram a analisar a eficiência energética como indicador de sustentabilidade na agricultura. (PIMENTEL *et al.*, 2005).

Desta forma, várias correntes de pensamento se formaram, na tentativa de desenhar um modelo de sustentabilidade em resposta a essa agricultura que, apesar de ter permitido o aumento da produção mundial de alimentos, com um acréscimo de 145 %, desde 1960, tornou-se degradante para os meios de produção empregados como solo, água e biodiversidade. (PRETTY, 2008). Além disso, este incremento da produção não promoveu uma distribuição regular dos alimentos, onde a África, por exemplo, diminuiu em 10% a sua produção alimentar, em relação ao ano citado. Em todo o mundo 800 milhões de pessoas não têm acesso adequado à alimentação.

Nesse sentido, Gliessman, Engles e Krieger (1998, 347), se referem à agroecologia como uma das principais formas de manejo alternativa, por ser um campo

de conhecimento que objetiva “a aplicação de princípios ecológicos ao desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis”. A agroecologia é o alicerce onde se inserem as principais correntes da agricultura sustentável: orgânica, biodinâmica, natural e permacultura, todas focadas em práticas de conservação dos meios de produção e agricultura econômica e socialmente justa. A agroecologia se torna uma abordagem científica voltada a apoiar a transição dos atuais padrões de agricultura convencionais e desenvolvimento rural para estilos sustentáveis de desenvolvimento rural e de agricultura. (CAPORAL, 2009).

No Brasil, a agroecologia é vista como um enfoque teórico e metodológico, que, com base em várias disciplinas científicas, pretende estudar a atividade agrícola sob uma perspectiva ecológica. Incorporando ideias sobre uma abordagem que ligam economia, sociedade e ambiente aos sistemas produtivos, a agroecologia toma como referência os arranjos sociais e ecológicos identificados nos sistemas tradicionais de produção agrícola na construção desse corpo de conhecimentos. (ALTIERI, 1989; UDRY; ARAÚJO, 2012).

Estudos como o de Pagani, Johnson e Vittuari (2017) e Lin *et al.* (2017) confirmaram o aspecto positivo na mudança de uma agricultura convencional para uma agricultura de práticas sustentáveis, com redução do uso de insumos e aumento da eficiência energética sem perdas significativas em produtividade. Di Falco e Zoupanidou (2016) afirmaram também que práticas sustentáveis, como a diversificação de cultivos, melhora a qualidade do ecossistema, aumentando os rendimentos.

Assim, novas estratégias de ação, orientadas para a construção de contextos de sustentabilidade, têm sido propostas para garantir o incremento da biodiversidade e da diversidade cultural, minimizando, ao mesmo tempo, as dependências às quais os agroecossistemas estão submetidos. No que diz respeito às formas de relação com os recursos naturais, estas devem atender não somente à utilização dos mesmos, mas também a sua conservação, empregando, para isto, tecnologias respeitadas para com o meio ambiente. (GUZMÁN, 2001).

3.4 Sistemas de produção e Biomassa no semiárido brasileiro

O material vegetal gerado pela absorção de luz solar através do processo de fotossíntese e seus diversos produtos provindos, entre eles as florestas, os cultivos e os resíduos agrícolas, os dejetos animais industriais e urbanos, são considerados biomassa. (COELHO *et al.*, 2008). Esta contém a energia química acumulada através da

transformação energética da radiação solar e pode ser diretamente liberada por meio da combustão, ou ser convertida através de diferentes processos em produtos energéticos, como, por exemplo: carvão vegetal, etanol, gases combustíveis, óleos vegetais combustíveis e outros.

A região semiárida brasileira ocupa 18,2% do território nacional, o que corresponde a 969,5 mil km². Este território foi delimitado com base na isoietta de 800 mm, no Índice de Aridez de Thorntwaite de 1941 (municípios com índice de até 0,50) e no risco da ocorrência de seca (superior a 60%). Dessa área, a Região Nordeste concentra em torno de 85,5%, abrangendo a maioria dos estados nordestinos, com a exceção do Maranhão, e o estado de Minas Gerais, situado na Região Sudeste, este último incluindo 10,5% do seu território. A região abriga 24,2 hab/km², aproximadamente 12% da população brasileira. (IBGE, 2010).

A maior parte do semiárido é recoberta pelo bioma caatinga, 844.453 km², o equivalente a 10% do território nacional. (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2013). A caatinga é marcada por sua diversidade de espécies com adaptação a deficiência hídrica, conhecidas como xerófitas. Comumente esta vegetação é desvalorizada pela falta de conhecimento sobre seu potencial alimentício, forrageiro e medicinal, sendo a descoberta de interesses para uso desta vegetação nativa um fator fundamental para sua conservação. O processo de transição para uma vegetação antrópica levou a uma redução no número total de espécies nativas encontradas nessa região, em substituição da mata nativa por espécies cultivadas, em especial milho, feijão, espécies forrageiras e pela extração de lenha. (GIULLIETI *et al.*, 2004).

Assim como as sociedades mudaram os seus modos de produção ao longo do tempo, a agricultura passou por transformações históricas e de diferenciação geográfica. No Semiárido, partiu-se dos sistemas de derrubada e queimada, com a prática do pousio e policultivos de subsistência, para sistemas de uso permanente do solo, até a monocultura motomecanizada e irrigada, de produção intensiva e voltada para o abastecimento do mercado interno e externo, conforme Gamarra-Rojas (2015), racionalidade oriunda do modelo de modernização da agricultura, conhecida como Revolução Verde. (MAZOYER; ROUDART, 2010). Com a mudança nos métodos de produção o setor agrícola foi perdendo autonomia no processo produtivo, ficando cada vez mais dependente da motomecanização, equipamento de irrigação intensivos em uso de energia, insumos industrializados para fertilização dos solos, plantio e combate de pragas.

Contudo, longe de ser uma transformação homogênea e linear, a agricultura se apresenta no espaço e no tempo em formas extremamente variáveis. Assim, os agroecossistemas do Semiárido da atualidade, em sua maioria, compreendem ao menos dois dos seguintes subsistemas: o quintal doméstico, os cultivos de sequeiro e/ou irrigados, a criação de animais e a caatinga em diversos estádios de sucessão ecológica. (GAMARRA-ROJAS, 2015).

A pecuária, a agricultura e a extração de madeira geraram uma expansão econômica com certas consequências causadas por atividades do manejo convencional, como queimadas para o preparo do solo para a agricultura, substituição de vegetação nativa por pastagens de gramíneas e extração de lenha. Estas agressões levaram ao desmatamento de 4,0 milhões de hectares de biomassa da caatinga. Grande parte de sua vegetação original, em torno de 60 e 70%, já foi modificada. Desta forma, as condições naturais existentes na área do semiárido parecem estar evoluindo para a intensificação da aridez, podendo transformar estas áreas futuramente em desertos. (ARAÚJO FILHO, 2013).

Aguiar (2012), ao investigar diversos tipos de manejo do semiárido, afirmou que manejos sustentáveis da caatinga, que promovam a integração entre agricultura e plantas nativas são importantes promotores da melhoria da comunidade vegetal, o acúmulo de biomassa em espécies com diâmetros maiores, quando comparados a manejos tradicionais, promovem o aumento da diversidade e modificação positiva da estrutura da comunidade de plantas. Estas comunidades se tornam grandes acumuladoras de biomassa, carbono e nutrientes, contribuindo para a ciclagem de nutrientes via serapilheira, podas e capinas, impulsionando a produtividade e apresentando-se como potenciais promotores de sustentabilidade.

Como fontes de energia, as plantas da caatinga são espécies promissoras. Lima Junior (2013) estimou o potencial energético e de produção de biomassa da caatinga e encontrou resultados que mostram as lenhas da caatinga (87.740,00 MWh) como fornecedoras de energia mais eficientes que o etanol (17.649,00 MWh), com uma produção de biomassa de até 30 toneladas de matéria seca por hectare. Sendo assim, é possível perceber que a região mostra grande potencial de aproveitamento através do uso do manejo florestal e de fontes em seus resíduos, como a biomassa de babaçu.

Assim como outras formas de manejo para potencializar a produção de biomassa no semiárido, o manejo silvipastoril de caatinga tem grande potencial como promotor de sustentabilidade. A porção herbácea da caatinga possui intensa capacidade

forrageira. Essas áreas de pastagem nativa geralmente são impróprias para uso na agricultura, mas são fortes promotores da manutenção de rebanhos domésticos, quando utilizado um sistema de manejo adequado. (ARAÚJO FILHO, 2013).

3.5 Fluxos energéticos e sustentabilidade em agroecossistemas

A energia tem papel importante nos processos metabólicos da sociedade, na produção de bens e serviços fornecidos a partir dos recursos naturais. Desde o início da civilização, os seres humanos têm se apropriado das energias da natureza através, inicialmente, de coletas, caças e, posteriormente, de cultivos. A mais importante das formas de energias para o ser humano é a solar, pois é diretamente convertida pelas plantas durante a fotossíntese em alimentos, vestuário e outros materiais essenciais para o padrão de vida atual. (MARTÍNEZ-ALIER, 2000).

Os agroecossistemas e os cultivos são instáveis e necessitam de energia externa para a sua manutenção, reparo e reprodução. Esta é adicionada através de uma série de tarefas ou operações destinadas a garantir a produção de biomassa ao longo de ciclos de cultivo sucessivos, modificando os ciclos de carbono e de nutrientes, o ciclo da água e os mecanismos de regulação bióticos. (GUZMÁN; MOLINA, 2015). A energia circula em fluxos com os diversos níveis de apropriação humana.

A coexistência entre agroecossistemas e o ecossistema como um todo através de produtos, subprodutos e lixo confrontam o conceito de ciclagem energética contínua devido aos diversos processos químicos e físicos. Neste contexto, utiliza-se o conceito de entropia como fator de medida de irreversibilidade de processos, ou seja, a incapacidade de uma parcela de energia de se transformar novamente em trabalho. O mesmo pode ser completamente convertido em energia térmica, mas o inverso não é possível. (KHATOUNIAN, 2001).

A entropia é uma grandeza que busca mensurar não a energia, tampouco a matéria total, mas sim como esta matéria e a energia encontram-se armazenadas e distribuídas em um sistema definido por fronteiras. Levando este conceito para a economia, a crença de reversibilidade dos processos, isto é, se alguns acontecimentos modificam a estrutura da oferta e da procura - uma vez que esses acontecimentos desaparecem, o mundo econômico sempre retorna às condições iniciais - é falsa. (GEORGESCU-ROEGEN, 2012). Sabe-se que, nos processos para a produção de bens de consumo, esta reversibilidade é impossível, pois parte da energia utilizada nos mesmos se dissipa em um estado indisponível para reuso.

No caso da crença da reversibilidade dos processos, poder-se-ia considerar que a sustentabilidade ambiental seria perfeita, pois, por serem os recursos completamente reversíveis, bastaria seu uso de forma econômica para garantir sua disponibilidade e o seu uso por diversas gerações. Isto não é o observado na atividade econômica, pois há geração de externalidades negativas, os resíduos e, pelas leis fundamentais da termodinâmica, esta forma de energia em particular não poderá mais ser utilizada. (BARBOSA; MARQUES, 2015).

Ao se considerar que o calor não pode se reverter em matéria nos processos de produção e que uma parte da energia está indisponível para ser utilizada, percebe-se que, com o passar dos tempos, nossos estoques energéticos reduzem, tornando-os indisponível para a produção de bens em longo prazo.

O uso de energia se modifica, em paralelo à evolução das corporações. Ao longo do tempo, as sociedades humanas têm tendência para aumentar a energia exossomática, de tal maneira que a proporção de exo/endo pode ser usada como um indicador de complexidade das sociedades. Nas fases iniciais da humanidade, a energia endossomática era quase o único tipo de energia disponível na natureza com uma quantidade mínima de energia transformada em instrumentos para uso doméstico. Já nas sociedades industriais atuais, a energia exossomática excede de trinta a quarenta vezes a quantidade de energia utilizada pelos indivíduos que a compõem. (GUZMÁN; MOLINA, 2005).

Junqueira, Criscuolo e Pino (1982) apresentaram uma classificação da energia consumida nos processos produtivos levando em consideração seu uso. O primeiro item diz respeito à energia não utilizada diretamente no agroecossistema (energia para o bem estar dos agricultores e agricultoras, e energia nas operações pós-colheita). O segundo item inclui a energia usada diretamente no processo, mas que não é convertida em energia do produto final (trabalho realizado pelos agricultores, animais de trabalho e máquinas e equipamentos, combustíveis e agrotóxicos), ou seja, que não é incorporada ao produto. O terceiro item é a energia utilizada e convertida de maneira direta em produto final (energia solar, energia contida nos nutrientes do solo, nos adubos e nos alimentos, quando se tratar de animais).

O balanço equilibrado destes três tipos de energia na agricultura torna-se fundamental para sustentar os sistemas que mantêm as engrenagens da sociedade. Esta sustentabilidade significa que um agroecossistema deve, além de fornecer o nível adequado de biomassa útil para a sociedade, prover seus elementos de sustentação

interna e manter disposição ótima dos serviços dos ecossistemas ao longo do tempo, sem deteriorar-se. Os custos energéticos com as funções básicas reprodutivas do agroecossistema, como matéria orgânica no solo e biodiversidade funcional em geral, tem de ser contabilizados para assegurar a manutenção destes serviços.

Em estudos de balanços e eficiência de fluxos energéticos utiliza a energia bruta presente nos materiais e itens alimentícios. Esta é medida em forma de calor, quando a substância é oxidada, e é distinta do valor energético metabolizável pelo ser humano ao consumir o alimento.

Segundo breve relato histórico de Oliveira (1987), o homem primitivo consumia apenas a energia contida na sua alimentação (estima-se que, nesta época, o consumo energético de cada pessoa era de 2 Mcal/dia). O homem caçador (100.000 a. C.) consumia alguma energia adicional na cocção (o consumo energético já somava 5 Mcal/dia). O homem agrícola (5.000 a. C.) utilizava também a energia animal em trabalhos do campo (por essa época, o consumo energético per capita subira para cerca de 16 Mcal/dia). O homem medieval europeu adicionou os moinhos de vento e os moinhos d'água ao seu consumo energético (o consumo humano de energia atingiu nessa época cerca de 26 Mcal/dia). O homem industrial (Inglaterra do século XIX) introduziu a máquina a vapor (e o consumo per capita de todas as formas de energia já utilizadas somavam 77 Mcal/dia) e, finalmente, o homem tecnológico (Estados Unidos do século XX) introduziu, inclusive, a eletricidade e os motores de combustão interna (chegando o consumo individual a cerca de 230 Mcal/dia).

De acordo com o autor, o acelerado crescimento de consumo de energia, depois da revolução industrial, nos países do Hemisfério Norte, estabeleceu dois fatos importantes. O primeiro refere-se à enorme disparidade entre o consumo energético dos países industriais e o dos países do Terceiro Mundo. O segundo está ligado ao esgotamento dos combustíveis fósseis. Estes estão intimamente relacionados na medida em que, em consequência do crescimento acelerado do consumo de energia, os países industriais veem esgotarem-se seus recursos energéticos, o que os leva a pressionar os recursos existentes no Terceiro Mundo.

Capellesso e Cazella (2012), Souza *et al.* (2008) e Campos e Campos (2004) utilizaram a eficiência energética como indicador de sustentabilidade na agricultura, descrevendo agroecossistemas mais eficientes neste fator como sendo mais sustentáveis, geralmente sendo estes os que utilizam processos com maior recirculação de energia, como é o caso dos cultivos orgânicos. É interessante notar que, associado ao aumento

na demanda energética na agricultura, aumentam a demanda por fosfato e por agrotóxicos, entre outros insumos químicos, podendo ser os sistemas de monocultura um dos maiores responsáveis pela diminuição da eficiência energética.

3.6 Retornos de investimento em energia (EROIs)

O ecologista Charles Hall, ainda na década de 1970, utilizou pela primeira vez o termo "Retorno de Energia sobre Investimento" (EROI). Segundo Gupta (2011), o termo já era utilizado sob uma óptica econômica, antropológica e ecológica, com o objetivo de fornecer informações sobre a tomada de decisão de atividades produtivas, a partir de medidas de eficiência do uso de energia.

EROIs são indicadores utilizados para medir a eficiência do uso de energia e fornecer subsídios para a tomada de decisão sobre aspectos vitais em atividades produtivas. (HALL, 2017). O conceito de EROI começou a ser utilizado para medir a eficiência na cadeia de combustíveis. A diminuição deste indicador seria o reflexo do decréscimo na facilidade de extração de matérias primas fósseis, ou seja, o aumento do custo em energia para, efetivamente, retirar-se combustíveis do solo.

Kiefer (2013), em seu estudo de comportamento econômico norte-americano, no decorrer do último século, ligou recessões econômicas a declínios de EROIs de uso de recursos energéticos abaixo de seu nível crítico. Considerou 6:1 como sendo o valor que representa a qualidade mínima de energia que uma civilização industrial deve possuir para sustentar a vida moderna, intensiva em uso de energia. Estas análises também chegaram à conclusão de que um EROI de 3:1 é a qualidade mínima absoluta que a matéria-prima de energia bruta deve possuir para superar todos os custos de produção e perdas de conversão e, ainda assim, produzir a energia líquida positiva à civilização moderna, sendo este um ponto crítico entre equilíbrio-desequilíbrio.

O valor do EROI abaixo de 6:1 indica que as civilizações industriais estão destinadas ao declínio, significando que uma fração cada vez maior de seu rendimento econômico (PIB) será gasta em energia, causando erosão fatal em padrões de vida. Faz-se necessário encontrar uma fonte energética com EROI mais elevado ou reverter a uma civilização pré-industrial com necessidades energéticas bem mais baixas. O resultado final é que uma economia moderna deve ser alimentada por fontes robustas de energia básica com um EROI coletivo acima de 6:1.

O EROI aplicado no contexto da agricultura tem o objetivo de medir a quantidade de energia necessária aplicada para a obtenção de uma unidade de energia

sob a forma de biomassa. Em outras palavras, um EROI em agricultura mede o "custo de energia" da biomassa líquida produzida que será disponibilizada para uso pela sociedade, na forma de alimentos, matérias-primas ou biocombustíveis. (GUZMÁN; MOLINA, 2015).

A utilização desse método admite a comparação do desempenho energético de: cultivos agrícolas, alimentares ou bioenergéticos; sistemas de cultivo ou criação de animais e; diferentes formas de produção como agricultura orgânica, agroecológica ou sustentável. (PERVANCHON; BOCKSTALLER; GIRARDIN, 2002). No entanto, as primeiras medidas de EROI restringem-se apenas ao modelo de insumo-produto, reduzindo a eficiência de energia a um critério de análise único, o que dificulta a tomada de decisão visando a reposição de débitos de energia, especialmente na agricultura. Fez-se necessário lançar mão de um ponto de vista agroecológico sobre o cálculo dos EROIs para uma análise verdadeiramente efetiva de fluxos energéticos em um sistema, onde é possível revelar fluxos internos antes esquecidos.

Os fluxos energéticos, além de fornecerem energia em forma de biomassa útil para a sociedade, devem também manter os elementos dos serviços essenciais do agroecossistema. Esses elementos de fundo do sistema são responsáveis por transformar os fluxos de entradas e saídas. A partir de uma análise de multi-critério, EROIs podem ser uma medida de eficiência de trocas metabólicas entre sistemas agrícolas e agrários, sistema natural e sistema social, com foco no diagnóstico de sua sustentabilidade ao longo do tempo.

Desta forma, admite-se que débitos de energia estão relacionados ao nível de biodiversidade associada ao agroecossistema, bem como sua heterogeneidade de paisagem. Nesse sentido, pesquisadores espanhóis, tais como Tello *et. al.* (2016), Guzmán *et. al.*, 2016 e Guzman e Molina (2015) introduziram o enfoque agroecológico ao método, com o objetivo de mensurar a capacidade de um agroecossistema manter suas próprias funções essenciais ou degradá-los. (TELLO *et. al.*, 2016).

Esta abordagem metodológica leva em conta os fluxos de biomassa empregados na sustentação adequada dos portadores de energia do agroecossistema, ou seja, subsidiando serviços como a reciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas e organização da biodiversidade do solo. Estas tarefas necessitam de investimentos energéticos para se consolidarem.

Neste sentido, o EROI agroecológico torna-se um meio de mensurar a saúde do ambiente e comparar diversos níveis de sustentabilidade de um agroecossistema, a partir

da sua capacidade de manter seus serviços essenciais de regulação da produção de biomassa ou degradá-los à medida que se aplica crescentes quantidades de energia artificialmente, sendo a reutilização de biomassa, dentro do sistema, uma alternativa aos insumos externos, como afirmam Guzmán e Molina (2015).

A contabilidade dos débitos em energia é feita a partir da comparação entre a quantidade de insumos aplicados no agroecossistema, sendo internos ou externos, com as saídas de energia finais de produtos, que são destinadas a atender as necessidades humanas. Além desses fluxos, o agroecossistema também produz energia para manter e regular os serviços dos ecossistemas.

Esta é uma abordagem agroecológica e socioeconômica de fluxos de energia e rendimentos dos sistemas agrícolas, que permite caracterizar perfis de energia em diferentes regiões ao longo do tempo e incorporar as preocupações de sustentabilidade. (GUZMÁN; MOLINA, 2015; TELLO *et. al.*, 2016).

4 METODOLOGIA

A metodologia se baseia em Guzmán (2014), como forma de construir tabelas de conversão de fatores a respeito da produção agrícola do semiárido que irão fomentar os estudos sobre fluxos de energia, assim como calcular os mesmos para análises de sustentabilidade.

4.1 Construção das tabelas de conversão de fatores

As tabelas de conversão de fatores objetivam esclarecer a produção de biomassa vegetal acima e abaixo do solo, revelando a produção real de energia em vegetais no agroecossistema, assim como elucidar a produção de biomassa em animais, fator bem menos complexo e dividido. A elaboração das mesmas deu-se a partir de uma pesquisa de natureza aplicada, onde se gerou um apanhado de conhecimentos teóricos e empíricos a respeito de produção de biomassa em cultivos e criações no semiárido. Com base nesses fatores de conversão foram aplicadas as metodologias de análises de fluxos de materiais e energia.

Quadro 1- Descrição metodológica da construção da tabela de conversão de fatores.

Item	Descrição
Natureza da pesquisa	Pesquisa aplicada.
Abordagem	Pesquisa quantitativa.
Delineamento	Pesquisa bibliográfica.
Âmbito	Ênfase no Semiárido Brasileiro.
Níveis de agregação socioambiental	Sistemas de cultivo e de criação; Unidade de produção agropecuária (agroecossistema).
Origem e natureza dos dados e informações	Periódicos científicos e outras fontes de informação da bibliografia preferencialmente nacional, complementada com a internacional; tabelas de pesos e medidas.
Instrumentos metodológicos	Pesquisa bibliográfica; Construção de base de dados em excel.
Organização e análise de dados quantitativos	Identificação de variáveis; construção de matrizes de análise; normalização e padronização de dados.

Fonte: Elaboração do autor (2017).

As bibliografias foram consultadas no intuito de retirar dados para a construção dos coeficientes de partição de biomassa vegetal, que pretendem distinguir diferentes porções da biomassa produzida nos ecossistemas, uma vez que, normalmente, apenas a porção comercializável é contabilizada. A metodologia se baseia na construção

das tabelas de conversão de fatores da metodologia de conversão de fatores de Guzmán *et. al.* (2016). Através do uso deste instrumento metodológico, foi possível agregar e organizar estes dados em planilhas de excel. Todas as informações presentes na base de dados referem-se a um ano produtivo dos cultivos inclusos, com pesos e medidas padronizados de acordo com o sistema internacional. No Quadro 1, encontra-se a descrição metodológica desta etapa do trabalho.

Para o estudo aprofundado de fluxos de materiais e energéticos se faz necessário também contabilizar a produção de energia animal no agroecossistema. Os cálculos para este tipo de biomassa também se encontram no estudo.

A base de dados se divide em nove tabelas, e suas etapas de construção se encontram descritas abaixo:

a) descrição das espécies e pesquisa bibliográfica do nome científico das espécies presentes na tabela a partir do seu nome vulgar.

b) modos de cultivo mais encontrados na literatura: as informações de produção agrícola na base de dados foram separadas de acordo com os modos de cultivo mais estudados pelos autores em suas pesquisas agronômicas sobre produção no semiárido. Os modos de cultivo inclusos no estudo são: convencional/orgânico; monocultivo/policultivo; irrigado/sequeiro.

c) produtividade das espécies: este fator foi construído através de dados sobre produtividade das espécies em pesquisas agronômicas. Em sua maioria são médias para cada modo de cultivo presente.

d) produção de biomassa seca na porção aérea e subterrânea da planta, sua relação e biomassa seca de produto: os valores para biomassa das porções aérea e subterrânea foram encontrados na literatura, e sua relação calculada utilizando estes dados (biomassa seca da porção aérea/ biomassa seca da porção subterrânea da planta). Para o cálculo da biomassa de raízes de frutíferas, não disponível na literatura, foi multiplicado a relação entre raiz:parte aérea de mudas, mais abundante em pesquisas agronômicas, pela quantidade de biomassa aérea destas plantas.

e) produção de biomassa fresca e seca de resíduos de produtos por hectare: a produção de matéria seca de resíduo de produto por hectare e quantidade de matéria fresca de resíduos de produto para a produção de um quilo de matéria fresca de produto se encontram abundantemente citados na bibliografia. A relação matéria seca: matéria fresca de resíduos de produto foi calculada diretamente a partir dos dados acima. Pela

dificuldade de informações e volume inexpressivo da biomassa desta porção em alguns cultivos, como alface, cebolinha e coentro, estes tiveram seus resíduos desconsiderados.

f) produção de biomassa fresca e seca de resíduos de manejo por hectare: para o caso de resíduo de manejo, os dados disponíveis na tabela foram encontrados na literatura. Pela dificuldade de informações e volume inexpressivo da biomassa desta porção em alguns cultivos, como alface, cebolinha e coentro, estes tiveram seus resíduos desconsiderados.

g) energia bruta contida em produtos e resíduos: para o cálculo de energia bruta (EB) de cultivos agrícolas, disponibilizada na base de dados, foi necessária uma pesquisa a respeito da composição química dos alimentos para realização de um cálculo indireto de energia disponível, uma vez que as tabelas que já apresentam a energia contida nos alimentos contém apenas o valor que pode ser digerido pelo ser humano, ou seja, a energia metabolizável, inviável para cálculos em estudos envolvendo metabolismo social.

Cada substância pura contida nos alimentos contém uma quantidade própria de energia bruta que já é fornecida pela literatura. Guzmán Casado *et al.* (2014), utilizaram em seu estudo de metodologia de conversão de fatores as substâncias consideradas mais abundantes nos alimentos: proteínas, lipídios e carboidratos, encontrando a EB através da quantidade de energia contida nestes três compostos, multiplicado pela quantidade dos mesmos presentes em cada um dos produtos agrícolas.

As proteínas contêm 5616,00 kcal/kg de alimento, os lipídios 9440,00 kcal/kg e os carboidratos 4182,00 kcal/kg. (FLORES MENGUAL, 2017; RODRÍGUEZ VENTURA, 2013).

A composição de gêneros alimentícios foi obtida na tabela brasileira TACO de composição de alimentos, uma iniciativa da UNICAMP, juntamente com o Ministério da Saúde e Ministério do Desenvolvimento Social, a fim de disponibilizar dados a respeito de alimentos produzidos nacional e regionalmente. Os mesmos valores foram considerados para o cálculo de energia de resíduos alimentares. Para evitar a ocorrência de subestimação de valores de EB produzidos pelo agroecossistema, é importante considerar a energia incorporada em resíduos de manejo, que irão retornar ou não ao sistema.

Os resíduos agrícolas, de acordo com o Inventario Energético de Resíduos Rurais, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2011), compreendem o material resultante das colheitas dos cultivos agrícolas, sendo importantes materiais para uso na

proteção dos solos e da biodiversidade, quando deixados nos locais de cultivo, prestando importante papel para os agroecossistemas. Dividem-se em três categorias.

Os primários são referentes a resíduos de colheita agrícola e florestal, que incluem palhada e restos de madeira; os secundários incluem resíduos de processamento da agroindústria de processamento e os terciários indicam resíduos do pós processamento resultante do consumo, ou seja, o lixo urbano. O esterco é considerado o principal resíduo animal. Nas tabelas de conversão de fatores se encontra explícito cada tipo de resíduo produzido no consumo e processamento do produto, assim como do resíduo do manejo dos cultivos agrícolas. Esta forma de organizar os resíduos permite o cálculo de biomassa, que poderá ser reutilizada em forma de compostos e biofertilizantes.

Estes resíduos, constituídos basicamente de hastes e folhas, comumente chamados de palha, possuem poder calorífico médio de 3.752,4 kcal/kg de matéria seca. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2011). Nesta tabela, esse valor representa a energia bruta contida em hastes e talos não lignificados, como é o caso dos resíduos de manejo e da parte aérea das plantas em estudo. Na estimativa de EB de resíduos de produto foram utilizados dados da literatura.

h) biomassa e energia produzida em plantas nativas no semiárido: os dados a respeito da produção de biomassa e energia para espécies espontâneas nativas da caatinga foram retirados diretamente da literatura.

i) biomassa e energia produzida em animais comuns em criações no semiárido: os dados a respeito da produção de biomassa e energia para criações animais na região semiárida foram retirados diretamente da literatura.

As variedades cultivadas e raças de animais criados escolhidas para o estudo foram tomadas como as cultivadas mais abundantemente na região semiárida segundo a literatura. As informações para biomassa vegetal se referem a um ciclo de cada cultura. As células vazias na tabela representam valores não encontrados até o presente momento, já as células preenchidas com o símbolo “-” representam valores considerados muito próximos à zero.

As aplicações de tabelas de conversão de fatores para biomassa e energia são as mais diversas. Um dos principais usos deste tipo de base de dados é em cálculos de balanços e fluxos de materiais e energéticos, uma vez que, através deste instrumento, é possível estimar a quantidade de energia produzida no agroecossistema estudado, como é o caso dos trabalhos realizados por Tello *et al.*, (2016) e Guzmán e Molina

(2015). Pesquisadores que desejarem estudar estes tipos de relações no semiárido quanto aos aspectos citados podem fazer uso da mesma.

4.2 Aplicação da metodologia de conversão de fatores a dois agroecossistemas no semiárido cearense.

O estudo empírico, de acordo com Prodanov e Freitas (2013), constituiu-se na análise de dois sistemas de cultivo do Semiárido cearense. Os dados técnicos desses sistemas foram extraídos de Lima (2013) e de Almeida (2015). Estes agroecossistemas, dos quais se apresenta breve descrição, a seguir, foram escolhidos pela disponibilidade de dados e pela diversidade de cultivos que permite explorar as tabelas de conversão de fatores.

O primeiro é uma produção agroecológica financiada pelo projeto Mandala da SDA/EMATERCE, em assentamento de reforma agrária, no município de Quixeramobim, Ceará. De acordo com Lima (2013) e Lima e Gamarra-Rojas (2017), essa Mandala é um subsistema de cultivo constituinte de um agroecossistema familiar mais amplo. A mesma consiste em espaço circular delimitado por cerca de arame, onde estão localizados seis canteiros em formato delta, dispostos de forma circular e concêntrica, em torno de um reservatório de água de 30m³. A área dos deltas é de 180 m², dos quais 60 m² correspondem à dona Francisca, que foi objeto de estudo de Lima (2013) e da qual foram retirados os dados de produção para o presente estudo.

As aves são manejadas no espaço central em torno do reservatório de água, delimitado por cerca de arame, de onde esta é distribuída por bombeamento para fertirrigação dos canteiros por aspersão. Nos dois deltas acima referidos se encontram os cultivos de ciclo curto: coentro, cebolinha, pimentão, tomate, alface e couve, totalizando 60 m². Nos corredores entre os deltas estão dispostos os cultivos de mamão e maracujá, totalizando 10 m². A banana é produzida ao redor do reservatório de água, em uma área de 50 m². A soma total da área produtiva é de 120 m² ou 0,012 ha. A água armazenada no reservatório é captada por meio de bombeamento do Rio Quixeramobim. Aparentemente, esse sistema tem o objetivo de prover trabalho e renda para a agricultora e proporcionar segurança alimentar e nutricional à família. (LIMA, 2013; GAMARRA-ROJAS, 2017).

O segundo é uma produção orgânica de um agricultor sem terra, em uma horta localizada em área cedida temporariamente pelo Departamento Nacional de Obras Contrás Secas (DNOCS), no município de Pentecoste, Ceará. De acordo com Almeida

(2015), a área do sistema de cultivo é de 6000 m² ou 0,6 ha, com os cultivos irrigados de cebolinha, coentro, pimenta de cheiro e pimentão. A horta está localizada à jusante da barragem do açude Pereira de Miranda, e à margem do canal que distribui água para agricultores irrigantes da região e onde se tem uma fonte de água que é abastecida pelo referido açude. A água para irrigação é obtida dessa fonte, por bombeamento. O relevo é levemente inclinado, encontrando-se a área protegida dos ventos pela parede do açude e por um entorno de vegetação nativa próprio da fisionomia de caatinga arbóreo-arbustiva em estágio de sucessão secundária. Predomina um solo de textura areno-argilosa. As atividades produtivas desse agricultor são orientadas pelo seu objetivo de sustentar a família por meio de seu trabalho na horta orgânica. Para atingi-lo utiliza estratégias de manejo com base em duas premissas: i) manter uma produção constante, com oferta diária de seus produtos, para assegurar a fidelidade de seus clientes e; ii) garantir um produto saudável, por meio da manutenção da fertilidade do solo com esterco, rotação de cultivos e uso de defensivos naturais. Nesse sistema utiliza-se mão de obra contratada temporária. (ALMEIDA, 2015).

No Quadro 2 encontra-se descrita a metodologia para realização do uso da tabela de conversão de fatores.

Quadro 2 - Descrição metodológica do uso da tabela de conversão de fatores em dois sistemas de cultivo orgânico no semiárido cearense.

Item	Descrição
Natureza da pesquisa	Pesquisa aplicada.
Abordagem	Pesquisa quantitativa.
Delineamento	Estudo de caso.
Âmbito	Municípios de Pentecoste e Quixeramobim, Ceará.
Níveis de agregação socioambiental	Agroecossistema; sistema de cultivo.
Sujeitos	Agricultora familiar residente em Quixeramobim, CE, produtora de hortaliças orgânicas em sistema de mandala e produtor de hortaliças orgânicas em Pentecoste, CE.
Origem e natureza dos dados e informações	Dados secundários originados de monografias.
Instrumentos metodológicos	Levantamento de dados.
Organização e análise de dados quantitativos	Análise de parâmetros pré-definidos.

Fonte: Elaboração do autor (2017).

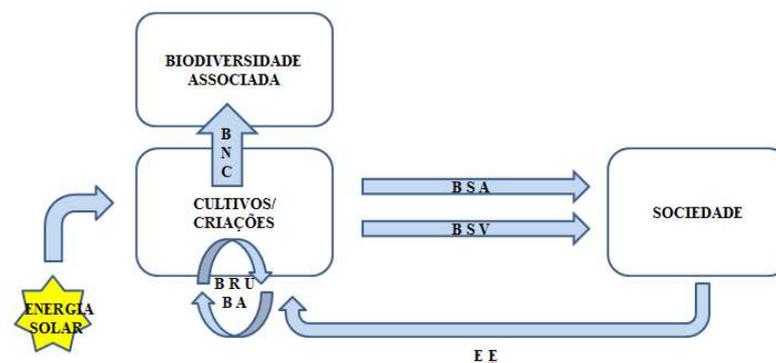
O levantamento documental desses dados secundários foi realizado para uma análise de parâmetros pré-definidos sendo estes os fluxos de biomassa e energia no

interior dos agroecossistemas: biomassa socializada, biomassa acumulada, biomassa produzida, biomassa reutilizada e biomassa não colhida.

4.3 Uso das partições de biomassa para cálculo de Retornos de Investimento em Energia

A partir de uma análise quantitativa dos dados contabilizados anteriormente, de acordo com a metodologia de Guzmán (2015), têm-se os devidos fluxos do agroecossistema, necessários para o cálculo de EROIs. A figura 1 exemplifica os fluxos de biomassa e energia referentes aos agroecossistemas.

Figura 1- Fluxos de biomassa e energia em agroecossistemas.



Fonte: Adaptação de Guzmán e Molina (2015).

- Biomassa Socializada Vegetal (BSV): biomassa vegetal que será diretamente apropriada pela sociedade humana como, por exemplo, hortaliças e frutas;
- Biomassa Socializada Animal (BSA): representa o produto da pecuária que está disponível para a sociedade como, por exemplo, aves;
- Biomassa Reutilizada (BRU): parcela que retornou de forma intencional ao sistema pelos seres humanos como, por exemplo, em forma de composto orgânico;
- Biomassa Não Colhida (BNC): devolvida ao agroecossistema pelo abandono. Seu retorno não envolve o investimento de trabalho humano. Este é o caso de resíduos dos cultivos que não recebem qualquer tratamento específico, a porção de pastagem não consumida pelo gado, os restos de árvores e a maior parte dos sistemas de raízes que não são colhidos pela sociedade e que são reciclados por organismos heterotróficos;

- Biomassa Acumulada (BA): biomassa acumulada em cultivos perenes, como, por exemplo, em anéis de lenhosas;

- Entradas Externas (EE): incluem o trabalho humano, bem como todos os insumos (fertilizantes, pesticidas, maquinaria, plástico, alimentação, etc.) que se originam fora do agroecossistema.

Fluck (1976 *apud* Tello *et al.*, 2016) estimou que um dia de trabalho humano é igual ao valor de consumo calórico necessário para a prática da atividade, 2.000 a 3.500 kcal. Já os demais insumos são calculados pelo seu valor potencial energético.

O valor energético adotado para conversão da massa das sementes em energia foi de 7.936,663 kcal/kg. (PIMENTEL *et al.*, 1973). Para combustíveis derivados de petróleo foi adotado como coeficiente energético o valor de 9210,086 kcal/l (SERRA *et al.*, 1979). Para o cálculo da energia referente a motores foi usada a metodologia da depreciação energética de Doering (1977), que nos leva a um valor que representa o investimento de 12.295,80 kcal/h. O coeficiente para o pulverizador costal é de 17.208,4 kcal/kg. (BANSAL; KSHIRSAGAR; SANGLE, 1988). O biofertilizante líquido foi estimado em 13 kcal/l. (SOUZA *et al.*, 2008).

Após o levantamento e classificação dos dados, assim como o registro dos fluxos de biomassa e energia nos dois agroecossistemas envolvidos, foram calculados quatro indicadores de EROI: final, interno, externo e agroecológico. (GUZMÁN; MOLINA, 2015). Calculou-se também a relação entre o EROI final e agroecológico que é utilizada para contrastar os perfis energéticos dos agroecossistemas em questão.

O EROI final é calculado pela seguinte equação:

$$\text{- EROI final} = (\text{BSV} + \text{BSA}) / (\text{BRU} + \text{EE}). \quad (1)$$

O EROI final mensura o retorno do investimento direto de energia líquida pela sociedade e pode ser dividido, por sua vez, em dois elementos: EROI interno e EROI externo:

O EROI externo, conhecido como "eficiência líquida", é um dos indicadores mais utilizados para avaliar a agricultura, a partir da perspectiva de energia. Este indicador permite visualizar o sistema como provedor ou consumidor de energia na sociedade.

$$\text{- EROI externo} = (\text{BSV} + \text{BSA}) / \text{EE} \quad (2)$$

O EROI interno reflete a eficiência da realocação de biomassa no sistema para ser transformada em produto para a sociedade. A utilidade deste indicador tem

crescido bastante, uma vez que esta biomassa pode ter usos alternativos (por exemplo, biocombustíveis). A má gestão desses pode levar a problemas ambientais e prejudicar os serviços essenciais do ambiente.

$$\text{- EROI interno} = (\text{BSV} + \text{BSA}) / \text{BRU}$$

Os EROIs do ponto de vista agroecológico refletem a produtividade real do sistema, não apenas o que é socializado e que não pode ser afetada pela biomassa animal. Relaciona a capacidade produtiva real dos agroecossistemas, com a energia total recebida, inclusive a energia reciclada sem a interferência humana. É chamado de "produtividade real", porque considera toda a biomassa vegetal produzido, não só o que é socializado. Os processos de deterioração dos recursos naturais, como a salinização do solo ou erosão, devem ser equilibrados pelo acréscimo de energia para superar a perda de capacidade produtiva.

O EROI agroecológico mensura reinvestimento nos elementos de fundos, ou seja, na estrutura do agroecossistema (por exemplo, a biodiversidade, heterogeneidade das paisagens ou a qualidade do solo), na sustentação de serviços básicos ecossistêmicos. Este indicador é dado por:

$$\text{- EROI Agroecológico} = (\text{BSV} + \text{BA}) / (\text{BRU} + \text{BNC} + \text{EE}) \quad (4)$$

De um ponto de vista ecológico, a biomassa socializada animal e vegetal é o resultado, não só da energia expressamente investida pela sociedade na operação do agroecossistema, mas também o que é realmente reciclado sem intervenção humana. (GUZMÁN; MOLINA, 2015). Da perspectiva da agroecologia, a relação entre o EROI agroecológico e o EROI final é de grande interesse.

De acordo com a metodologia do autor, essa relação é igual a uma unidade quando toda biomassa reciclada for reutilizada, indicando forte intervenção humana, com nenhuma biomassa sendo deixada para as espécies de regulação. Quando não existem entradas externas e nenhuma biomassa é reutilizada pela sociedade, esta relação tem valor zero, indicando ecossistemas naturais, sem intervenção do homem.

O declínio da biomassa reutilizada por unidade de insumos totais pode levar a uma diminuição da heterogeneidade espacial e complexidade de paisagens, e uma redução de espécies. Esta redução também conduziria ao aumento da utilização de EE para o funcionamento dos agroecossistemas e, conseqüentemente, de combustíveis fósseis. Portanto, do ponto de vista agroecológico, é necessário equilíbrio entre estes dois usos da biomassa e o valor obtido deve ser analisado a partir dessa perspectiva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção representa os resultados do estudo iniciando com a apresentação das tabelas de conversão de fatores, seguindo com a contabilização dos fluxos de biomassa e energia através das mesmas em dois agroecossistemas do semiárido brasileiro, dando origem a uma análise de eficiência energética através dos Retornos de Investimento em Energia nos sistemas estudados.

5.1 Tabelas de conversão de fatores

De acordo com as pesquisas bibliográficas realizadas, foram construídas as tabelas de conversão de fatores para uso no estudo secundário de contabilização de biomassa.

5.1.1 Estrutura e funções das tabelas

As tabelas de conversão de fatores são apresentadas a seguir na sequência em que aparecem na base de dados. Inicia-se com a descrição de sua estrutura, seguindo com suas funções e informações adicionais relevantes para compreensão de sua construção e uso.

5.1.1.1 Tabelas de espécies cultivadas e de formas de manejo

A primeira tabela apresenta a descrição dos cultivos abordados, o nome científico e especificação da cultivar ou variedade. A segunda traz os sistemas de manejo encontrados na literatura, os quais estão subdivididos em três grupos, quais sejam: orgânico/convencional; policultivo/monocultivo e sequeiro/irrigado (figura 2).

Figura 2- Tabelas referentes à descrição das espécies cultivadas e suas respectivas formas de manejo.

Espécie			Método de produção		
Nome Vulgar	Nome Científico	Variedade ou Cultivar	Orgânico / Convencional	Policultivo / Monocultivo	Sequeiro / Irrigado
Abóbora	<i>Cucurbita moschata</i>	Crioula	convencional	monocultivo	irrigado
Abóbora	<i>Cucurbita moschata</i>	Crioula	orgânico	monocultivo	irrigado
Alface	<i>Lactuca sativa L.</i>	Crespa	convencional	monocultivo	irrigado
Alface	<i>Lactuca sativa L.</i>	Crespa	convencional	policultivo	irrigado
Alface	<i>Lactuca sativa L.</i>	Crespa	orgânico	policultivo	irrigado

Alface	<i>Lactuca sativa L.</i>	Crespa	orgânico	monocultivo	irrigado
Cebolinha	<i>Allium schoenoprasum</i>	Comum	convencional	monocultivo	irrigado
Cebolinha	<i>Allium schoenoprasum</i>	Comum	orgânico	policultivo	irrigado
Cebolinha	<i>Allium schoenoprasum</i>	Comum	convencional	policultivo	irrigado
Coentro	<i>Coriandrum sativum</i>	Comum	convencional	monocultivo	irrigado
Coentro	<i>Coriandrum sativum</i>	Comum	convencional	policultivo	irrigado
Coentro	<i>Coriandrum sativum</i>	Comum	orgânico	policultivo	irrigado
Couve	<i>Brassica oleracea</i>	Manteiga	orgânico	monocultivo	irrigado
Couve	<i>Brassica oleracea</i>	Manteiga	convencional	monocultivo	irrigado
Pimenta de cheiro	<i>Capsicum odoriferum</i>	Comum	orgânico	monocultivo	irrigado

Figura 2- Tabelas referentes à descrição das espécies cultivadas e suas respectivas formas de manejo.

Pimenta de cheiro	<i>Capsicum odoriferum</i>	Comum	orgânico	policultivo	irrigado
Pimentão	<i>Capsicum annuum Group</i>	Verde	convencional	monocultivo	irrigado
Pimentão	<i>Capsicum annuum Group</i>	Verde	convencional	policultivo	irrigado
Pimentão	<i>Capsicum annuum Group</i>	Verde	orgânico	policultivo	irrigado
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	Italiano	convencional	monocultivo	irrigado
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	Italiano	orgânico	monocultivo	irrigado

Fonte: Elaboração do autor (2017).

5.1.1.2 Tabelas de biomassa fresca e seca de plantas e produtos e seus fatores de conversão em matéria seca

A tabela de biomassa fresca de produtos refere-se à porção comercializável do cultivo, especificando-se seus tipos como fruto, maço e cabeça (Figura 3).

Figura 3- Tabelas referentes à produção de biomassa fresca e seca de plantas e produtos dos cultivos por hectare.

Biomassa (Matéria Fresca - MS)		Biomassa (Matéria Seca - MS)					
Produto		Parte Aérea (kg MS/ha)	Parte Subterrânea (kg MS/ha)	Parte Sub. / Parte Aérea	Produto		
Especificação	kg MF/ha				Especificação	kg MS/ha	kg de MS/ kg de MF
Fruto	10647,000	4587,100	729,349	0,159	fruto	2310,000	0,217
Fruto	11798,000				fruto		
Cabeça	12780,000	124,850	11,991	0,096	cabeça	124,850	0,010
Cabeça	12940,000				cabeça		
Cabeça	12867,080				cabeça		
Cabeça	26900,000				cabeça		
Maço	12800,000	96,000	120,000	0,800	maço	96,000	0,008

-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
talo	2253,200	96,480	0,043	0,200	-	-	-
talo					-	-	-
semente	72230,000	6067,320	0,084	2,330	haste; folha	0,087	0,727
semente					haste; folha		
semente	58582,500	5389,590	0,092	0,730	haste; folha	0,087	0,727
semente					haste; folha		
semente					haste; folha		
semente	42355,946	6946,375	0,164	0,960	haste; folha	0,062	0,957
semente					haste; folha		

Fonte: Elaboração do autor (2017).

O pesquisador pode fazer uso destas relações para estimar valores de biomassa de resíduos a partir de outras informações já disponíveis. Deve-se ressaltar que, para o uso desta base de dados, o pesquisador necessita interpretar os seus objetivos específicos e a partir deles discernir o que serão considerados resíduos em sua pesquisa.

5.1.1.5 Tabela de energia bruta

Apresenta a quantidade de energia bruta (EB) presente em um kg de matéria fresca da parte comestível do produto, na matéria seca de resíduo de produto e na parte aérea e de resíduo de manejo dos cultivos relacionados (Figura 5).

Figura 5- Tabela de energia bruta contida nos cultivos.

Energia bruta em espécies cultivadas do semiárido								
Espécie			Composição Porção Comestível (kg/kg MF)			Energia Bruta (kcal/kg)		
Nome Vulgar	Nome Científico	Variedade ou Cultivar	Proteínas	Lipídios	Carboidratos	Produto		Parte aérea e RM (MS)
						Porção Comestível (MF)	Resíduo (MS)	
Abóbora	<i>Cucurbita Moschata</i>	Crioula	0,010	0,001	0,027	178,54	1100,00	3.752,39
Alface	<i>Lactuca sativa L.</i>	Crespa	0,013	0,002	0,017	163,00	-	3.752,39
Banana	<i>Musa acuminata</i>	Prata	0,013	0,001	0,260	1.169,93	3322,18	3.752,39
Capim	<i>Pennisetum purpureum</i>	Elefante	-	-	-	-	4108,13	3.752,39
Cebolinha	<i>Allium schoenoprasum</i>	Comum	0,019	0,004	0,034	286,69	-	3.752,39
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Verde	0,037	0,420	0,104	4.607,91	5447,38	3.752,39
Coentro	<i>Coriandrum sativum</i>	Comum	0,209	0,104	0,480	4.163,36	-	3.752,39
Couve	<i>Brassica oleracea</i>	Manteiga	0,029	0,050	0,043	814,77	330,00	3.752,39
Feijão	<i>Vigna unguiculata</i>	Caupi;	0,202	0,024	0,612	3.920,89	4326,00	3.752,39

Mamão	<i>Carica papaya</i>	Formosa	0,080	0,010	0,116	1.028,92	1200,00	3.752,39
Maracujá	<i>Passiflora edulis</i> f. <i>Flavicarpa</i>	Amarelo	0,020	0,021	0,123	825,05	1820,00	3.752,39
Melão	<i>Cucumis melo</i>	Comum	0,070	-	0,750	3.530,11	950,00	3.752,39
Milho	<i>Zea mays</i>	Comum	0,066	0,006	0,286	1.623,57	4326,00	3.752,39
Pimenta de cheiro	<i>Capsicum odoriferum</i>	Comum	0,010	0,020	0,049	449,93	1760,00	3.752,39
Pimentão	<i>Capsicum annuum</i> Group	Verde	0,010	0,020	0,049	449,93	1760,00	3.752,39
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	Italiano	0,011	0,020	0,031	380,26	1760,00	3.752,39

Fonte: Elaboração do autor (2017).

5.1.1.4 Tabela de biomassa e energia de plantas espontâneas

Esta tabela apresenta dados de produção de biomassa em matéria fresca e seca de plantas espontâneas para diversas formas de manejo do ambiente cultivado ou do manejo da caatinga, assim como o seu valor energético potencial, encontrados na literatura, expostos na figura 6.

Figura 6-Tabela de produção de biomassa de plantas espontâneas por hectare e seu valor energético potencial.

Biomassa e energia de plantas espontâneas				
Informações gerais	Método de produção	kg de MF/ ha	kg de MS/ ha	kcal/kg de MS
Plantas espontâneas em cultivos (herbáceas)	convencional		120,55	
Plantas espontâneas em cultivos (herbáceas)	plantio direto		1.228,00	
Plantas espontâneas em cultivos (herbáceas)	orgânico	23.520,00	2.004,50	
Plantas espontâneas em manejo de caatinga (Herbáceas)	conservação	16.200,00	3.373,75	
Plantas espontâneas em manejo de caatinga (Herbáceas)	raleamento		3.687,75	
Plantas espontâneas em manejo de caatinga (arbóreas)	manejo florestal		2.100,00	3.881,00
Caatinga conservada	conservação		35.490,00	3.881,00

Fonte: Elaboração do autor (2017).

As plantas consideradas invasoras ou concorrentes, por sua natureza, são de crescimento espontâneo. Por esta razão é difícil mensurar ou estimar padrões gerais para o seu crescimento e acúmulo. As espécies de plantas espontâneas com maior índice de representatividade³¹ no extrato herbáceo em hortas e pomares, em um aspecto geral, para o Brasil, são da família Poaceae, conforme Cunha *et al.* (2014), e Cyperaceae, a exemplo da tiririca (*Cyperus rotundus*), principalmente em áreas manejadas. Mas, há

¹ Índice de representatividade indica quais espécies de plantas se apresentam em maior frequência no levantamento fitossociológico de plantas espontâneas. (CUNHA *et al.*, 2014).

também as espécies de folhas largas e as espécies nativas de caatinga sob manejo pastoril ou agroflorestral.

Até esta etapa de construção da base de dados não se encontrou informações referentes à biomassa subterrânea e valor energético desta vegetação. Desta forma, são encontradas na tabela médias de crescimento apenas da parte aérea de espontâneas na caatinga e em cultivos no semiárido, informação mais encontrada na literatura.

5.1.1.5 Tabela de biomassa da produção animal

A tabela de produção de biomassa animal, em criações tipicamente utilizadas no semiárido, inclui valores de produção de biomassa do produto em kg de matéria seca, por unidade animal comercializada, de seus resíduos produzidos em seu tempo de vida, até a comercialização, assim como valores de energia por kg de produtos e de resíduos. Todos estes valores foram encontrados diretamente na literatura (Figuras 7 e 8).

Figura 7- Tabela de produção de de biomassa e energia bruta contida em um kg de biomassa animal e seus resíduos.

Criação	Nome científico	Sistema de produção	Raça	Biomassa produto (kg MF/ ua)	Biomassa produto (kg MS/ ua)
Galinha	<i>Gallus gallus domesticus</i>	Avicultura de corte	SRD	2,53	0,63
Bovino	<i>Bos taurus</i>	Bovinocultura de corte	SRD	249,50	58,38
Caprino	<i>Capra aegagrus hircus</i>	Caprinocultura de corte	SRD	25,00	6,00
Ovino	<i>Ovis aries</i>	Ovinocultura de corte	SRD	25,00	6,25

Fonte: Elaboração do autor (2017).

Figura 8- Tabela de produção de de biomassa e energia bruta contida em um kg de biomassa animal e seus resíduos.

MF/MS de produto	Energia bruta do produto (kcal/ kg MS)	Biomassa de resíduo de produto (kg de MF / kg de produto)	Biomassa de resíduo de produto (kg de MS / kg de produto)	Energia bruta do resíduo (kcal/ kg MS)
0,240	2.561,40	25,96	9,35	2.796,36
0,233	2.554,90	21,94	3,73	2.831,17
0,240		7,30	3,58	3.612,49
0,250	4.410,00	7,30	2,48	505,55

Fonte: Elaboração do autor (2017).

5.1.4 Dificuldades e limitações na construção das tabelas de conversão de fatores

As tabelas de conversão de fatores permitem que pesquisadores realizem estudos que envolvam produção de biomassa e energia em agroecossistemas na região semiárida, assim como usar as informações da mesma como parâmetros para estudos em outras regiões. Porém, algumas dificuldades e limitações foram encontradas durante a construção desta ferramenta, e estas devem ser explicitadas.

Inicialmente deve-se destacar a dificuldade de se encontrar informações para a referida região, levando ao uso de informações de estudos de outras regiões como referência para a construção deste instrumento. Além desta limitação, existe também uma insuficiência de dados a respeito de sistemas de manejo diversos, levando ao uso de aproximações quando o pesquisador deseja fazer uso deste instrumento em estudos a respeito de fluxos de biomassa e energia. A ausência de dados também levou a exceções onde algumas informações presentes na tabela não são médias de resultados, e sim o resultado de apenas um estudo.

Deve-se ressaltar que a tabela de conversão de fatores não é um instrumento estático e deve ser ampliada com o passar do tempo, bem como melhorada a qualidade das informações.

5.2 Aplicação da metodologia de conversão de fatores a dois agroecossistemas no semiárido cearense

Como exemplo de estudo utilizando a base de dados construída, foi realizado um estudo de caso comparativo em dois sistemas de cultivo orgânico: uma mandala localizada no município de Quixeramobim, no estado do Ceará, onde os dados técnicos desta produção foram extraídos de Lima (2013) e uma horta orgânica comum, localizada em Pentecoste, no mesmo estado, cujos dados técnicos de produção se encontram disponíveis em Almeida (2015). A área e a produtividade agrícola destes agroecossistemas estão descritos nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1- Produção agrícola de uma mandala em 120 m², município de Quixeramobim, Ceará, 2013.

Cultivo/criação	Produção (kg massa fresca)
Cultivos de ciclo curto	
Abóbora	624,00
Alface	303,81

Cebolinha	1.747,20
Coentro	1.747,20
Couve	270,40
Pimentão	257,63
Tomate	195,00
Cultivos de ciclo longo	
Banana	1.233,60
Mamão	290,40
Maracujá	229,04
Criações de animais	
Galinhas	216,00

Fonte: Lima (2013).

Tabela 2- Produção agrícola de uma horta orgânica em 6.000 m², município de Pentecoste, Ceará, 2015.

Cultivo/criação	Produção (kg massa fresca)
Cultivos de ciclo curto	
Cebolinha	21.216,00
Coentro	21.216,00
Pimenta de cheiro	806,00
Pimentão	8.708,03

Fonte: Almeida (2015).

O uso das tabelas de conversão de fatores é demonstrado utilizando como exemplo o cultivo de tomate na mandala em Quixeramobim. A partir da quantidade de matéria seca aérea produzida pelo tomateiro em um hectare cultivado, presente nas tabelas de conversão de fatores, 1754,173 kg de matéria seca, foi calculada a quantidade de biomassa aérea produzida nos 120 m² (0,012 ha), onde o tomate foi produzido.

Para a obtenção do valor da matéria seca gerada pelos resíduos de manejo de tomate, multiplica-se o valor do produto colhido fresco pelo índice de resíduos de manejo por kg de produto, presente na base de dados e, em seguida, pelo fator de conversão para matéria seca de resíduos de tomate. Da mesma forma ocorreu para se alcançar o valor de resíduos de produto.

Para o cálculo de biomassa de raízes, utiliza-se a soma da biomassa seca de colheita e resíduos de manejo de tomate, e multiplica-se pela razão biomassa aérea: biomassa radicular para tomate.

Para o cálculo de biomassa de plantas espontâneas que cresceram na área, considera-se a produção média de 2004,50 kg de matéria seca por ha em cultivos

orgânicos, disponível na tabela de conversão de fatores. A estimativa da biomassa de raízes de ervas daninhas foi realizada utilizando como parâmetro os fatores de conversão para capim elefante, também da família *Poaceae*, considerando-se que a proporção de biomassa de parte aérea e raízes e energia bruta é equivalente a das plantas espontâneas. As tabelas 3 e 4 apresentam as partições de biomassa produzidas no ano agrícola de 2013 e 2015 nestes agroecossistemas.

Finalmente, a energia bruta gerada pela produção agrícola nesta mandala foi obtida multiplicando-se a produção de matéria seca de todas as partições de biomassa por seus devidos fatores de conversão em energia, presentes na base de dados para biomassa aérea e subterrânea de produtos, resíduos e plantas espontâneas. Com estes cálculos, foi possível perceber uma parcela de energia bruta gerada por cada cultivo em particular, e também o total em todo o agroecossistema (Tabelas 5 e 6). Desta forma, podemos entender os processos de circulação e recirculação de energia no agroecossistema e entre este e a sociedade.

Tabela 3- Produtividade primária líquida de uma mandala em 120 m², município de Quixeramobim, Ceará, 2013.

Biomassa								
Cultivo	Cultivo						Plantas espontâneas	
	Aéreo					Subterrâneo	Parte aérea (kg MS)	Raízes (kg MS)
	Colhida/ produzida (kg MF)	Produzida em ciclo curto (kg MS)	Acumulada em ciclo longo (kg MS)	Resíduos de manejo (kg MS)	Resíduos de produto (kg MS)	Raízes (kg MS)		
Abóbora	624,000	27,522	-	11,856	16,862	101,101	2,00	0,166
Alface	303,810	-	-	-	27,267	175,602	2,00	0,166
Cebolinha	1.747,200	-	-	-	-	1.397,760	2,00	0,166
Coentro	1.747,200	-	-	-	-	312,749	2,00	0,166
Couve	270,400	1,755	-	-	2,316	98,966	2,00	0,166
Pimentão	257,634	29,556	-	16,295	17,303	33,419	2,00	0,166
Tomate	195,000	10,520	-	11,593	30,701	126,228	2,00	0,166
Banana	1.233,600	-	71,004	1.451,715	271,201	1.157,371	2,00	0,166
Mamão	290,400	-	ND	0,223	4,220	223,780	2,00	0,166
Maracujá	229,035	-	2,205	6,670	8,642	22,392	2,0	0,166
Galinhas	216,000	-	-	2.019,600	-	-	2,00	0,166
TOTAL	7.114,279	69,353	73,209	3.517,953	378,511	3.649,369	21,090	1,750

Fonte: Elaboração do autor (2017).

Tabela 4- Produtividade primária líquida de uma horta orgânica em 6.000 m², município de Pentecoste, Ceará, 2015.

Biomassa								
Cultivo	Cultivo						Plantas Espontâneas	
	Aéreo					Subterrâneo	Parte aérea (kg MS)	Raízes (kg MS)
	Colhida/ produzida (kg MF)	Produzida em ciclo curto (kg MS)	Acumulada em ciclo longo (kg MS)	Resíduos de manejo (kg MS)	Resíduos de produto (kg MS)	Raízes (kg MS)		
Cebolinha	21.216,000	-	-	-	-	16.972,800	300,670	24,956
Coentro	21.216,000	-	-	-	-	3.797,664	300,670	24,956
Pimenta de cheiro	806,000	239,390	-	509,787	157,750	321,594	300,670	24,956
Pimentão	8.708,029	2.955,600	-	5.507,741	584,831	1.062,380	300,670	24,956
TOTAL	51.946,029	3.194,990	-	6.017,528	742,582	22.154,438	1.202,680	99,822

Fonte: Elaboração do autor (2017).

Tabela 5- Partições de energia bruta de uma mandala em 120 m², município de Quixeramobim, Ceará, 2013.

Energia								
Cultivo	Cultivo						Plantas Espontâneas	
	Aéreo					Subterrâneo	Parte aérea (kcal/kg MS)	Raízes (kcal/kg MS)
	Colhida/ produzida (kcal/kg MF)	Produzida em ciclo curto (kcal/kg MS)	Acumulada em ciclo longo (kcal/kg MS)	Resíduos de manejo (kcal/kg MS)	Resíduos de produto (kcal/kg MS)	Raízes (kcal/kg MS)		
Abóbora	111.407,261	103.273,553	-	44.488,454	16,862	64.406,194	8.216,260	681,950
Alface	49.521,610	-	-	-	27,267	330,211	8.216,260	681,950
Cebolinha	500.900,178	-	-	-	-	33.568,970	8.216,260	681,950
Coentro	7.274.223,156	-	-	-	-	558.263,310	8.216,260	681,950
Couve	220.313,961	6.585,462	-	-	2,316	13.553,669	8.216,260	681,950
Pimentão	115.916,825	110.905,934	-	61.145,358	17,303	7.895,050	8.216,260	681,950
Tomate	74.150,334	39.475,248	-	43.501,573	30,701	118.677,155	8.216,260	681,950
Banana	1.443.229,327	-	266.435,410	5.447.415,366	271,201	2.784.761,107	8.216,260	681,950
Mamão	298.798,272	-	ND	836,785	4,220	87.066,937	8.216,260	681,950
Maracujá	188.964,815	-	8.274,042	25.028,508	8,642	40.792,340	8.216,260	681,950
Galinhas	604.013,760	-	-	5.647.528,656	-	-	8.216,260	681,950
TOTAL	10.881.439,500	260.240,197	274.709,452	11.269.944,701	378,511	3.709.314,943	90.378,860	7.501,445

Fonte: Elaboração do autor (2017).

Tabela 6- Partição de energia bruta de uma horta orgânica em 6.000 m², município de Pentecoste, Ceará, 2015.

Energia								
Cultivo	Cultivo						Plantas Espontâneas	
	Aéreo					Subterrâneo	Parte aérea (kcal/kg MS)	Raízes (kcal/kg MS)
	Colhida/ produzida (kcal/kg MF)	Produzida em ciclo curto (kcal/kg MS)	Acumulada em ciclo longo (kcal/kg MS)	Resíduos de manejo (kcal/kg MS)	Resíduos de produto (kcal/kg MS)	Raízes (kcal/kg MS)		
Cebolinha	6.082.359,306	-	-	-	-	63.688.564,99	1.235.191,45	102.520,89
Coentro	88.329.852,613	-	-	-	-	14.250.316,42	1.235.191,45	102.520,89
Pimenta de cheiro	362.642,202	898.284,64	-	1.912.919,42	277.640,56	1.206.746,11	1.235.191,45	102.520,89
Pimentão	3.917.988,687	11.090.563,88	-	20.667.193,71	1.029.302,98	3.986.462,45	1.235.191,45	102.520,89
TOTAL	98.692.842,807	11.988.848,53	-	22.580.113,13	1.306.943,55	83.132.089,96	4.940.765,79	410.083,56

Fonte: Elaboração do autor (2017)

Lima (2013) esclarece que, na mandala em estudo, ocorre o uso de resíduos de vegetais utilizados na alimentação em um composto preparado na propriedade para uso nos canteiros, onde estes resíduos devem ser contabilizados como biomassa reutilizada.

A autora disponibiliza em sua pesquisa a parcela de produto consumida pela família, e a partir da base de dados calculou-se que esta parcela corresponde a um total de 25,086 kg de matéria seca e 31.429,56 kcal, geradas em cascas e talos, que serão usadas na compostagem e retornarão ao solo da propriedade. Esta parcela se unirá aos demais resíduos culturais e da criação animal, que também são reincorporados no sistema de mandala. Já no caso da horta em Pentecoste, não ocorre a fabricação de composto orgânico na propriedade, sendo utilizado como adubo esterco comprado na comunidade e biofertilizantes.

As tabelas 7 e 8 descrevem o uso da biomassa e circulação de energia no agroecossistema em questão, acrescentando-se que é somado aos totais de biomassa e energético o valor referente aos resíduos alimentares e ao esterco que fazem parte do composto orgânico no caso da mandala.

Tabela 7- Distribuição da biomassa vegetal e energia bruta de uma mandala em 120 m², município de Quixeramobim, Ceará, 2013.

Partição	Tipo	Biomassa	Energia bruta (kcal)	% BM	% EB
Biomassa não colhida	Resíduos de manejo	3.517,953	11.269.944,701	21,33	35,03
	Parte aérea (Plantas espontâneas)	21,090	90.378,860	0,13	0,28
	Parte subterrânea (Plantas espontâneas e cultivos)	3.651,119	3.716.816,389	22,14	11,55
Biomassa socializada	Vegetal	6.898,279	10.277.425,740	41,83	31,94
	Animal	216,000	604.013,760	1,31	1,88
Biomassa reutilizada	Composto (resíduos alimentares da família + esterco)	2.044,686	5.678.958,214	12,40	17,65
Biomassa produzida	Cultivos de ciclo curto	73,207	274.709,452	0,44	0,85
Biomassa acumulada	Cultivos de ciclo longo	69,533	260.240,197	0,42	0,81
Total		16.482,012	32.164.533,972	100,00	100,00

Fonte: Elaboração do autor (2017)

A energia em forma de biomassa que permanece no agroecossistema, em forma de raízes de cultivos, raízes e parte aérea de plantas daninhas e resíduos de manejo foi a parcela mais significativa de energia no agroecossistema (46,86%), sendo a grande responsável pela manutenção da biodiversidade, unida à biomassa reutilizada pela ação do homem, através do autoconsumo familiar (17,65%), a partir do reaproveitamento dos resíduos como composto orgânico. Desta forma, podemos perceber uma preocupação do produtor em manter a fertilidade e biodiversidade do agroecossistema com menor uso de entradas externas.

A biomassa socializada em forma de alimentos de origem animal e vegetal foi o segundo fator mais relevante na análise de fluxos deste agroecossistema. Esta parcela

representa um total de 33,83% da energia presente, sendo 31,94% de energia em biomassa vegetal e 1,88% de energia em biomassa animal. As demais parcelas representam a menor fração da energia neste agroecossistema, 1,66%.

Tabela 8- Distribuição da biomassa vegetal e energia bruta de uma horta orgânica em 6.000 m², município de Pentecoste, Ceará, 2015.

Partição	Tipo	Biomassa	Energia bruta (kcal)	%BM	% EB
Biomassa não colhida	Parte subterrânea (Plantas espontâneas e cultivos)	22.254,26	83.542.173,53	26,30	37,67
	Parte aérea (Plantas espontâneas)	1.202,68	4.940.765,79	1,42	2,23
	Resíduos de manejo	6.017,53	22.580.113,13	7,11	10,18
Biomassa socializada	Alimentos	51.946,03	98.692.842,81	61,39	44,51
Biomassa produzida	Cultivos de ciclo curto	3.194,99	11.988.848,53	3,78	5,41
Biomassa acumulada	Cultivos de ciclo longo	-	-	-	-
Total		84.615,49	221.744.743,77	100,00	100,00

Fonte: Elaboração do autor (2017)

Já na horta orgânica, a fração mais expressiva da energia é expressa pela biomassa não colhida, sendo 50,09% da energia total, sendo 37,67% em forma de partes subterrâneas de cultivos e plantas espontâneas; 2,23% em forma de biomassa aérea de plantas espontâneas e; 10,08 % em resíduos de manejo. Esta parcela ficará no solo e auxiliará na manutenção dos serviços do agroecossistema, retornando ao solo para conservação da biodiversidade.

A biomassa socializada vegetal (44,51%) é a porção da energia do agroecossistema que vem logo em seguida, sendo uma importante fração da energia que circula no sistema. O produtor não faz uso de criação animal.

O agroecossistema não possibilitou o acúmulo de energia em forma de biomassa acumulada em plantas de ciclo longo. Já na formação de plantas de ciclo curto houve um investimento de 5,41% da energia total.

No total, 64,51% da biomassa produzida na mandala foi devolvida ao solo como forma de manutenção da biodiversidade e fertilidade, superior ao ocorrido na horta, 50,09%, e próximo ao estimado por Guzmán Casado *et al.* (2014), de 66%, fator considerado responsável pela manutenção da produtividade em seu estudo utilizando a metodologia de conversão de fatores em um agroecossistema na Europa. O gado bovino foi o maior responsável por essa realocação da biomassa produzida no estudo Europeu, onde, no caso do presente estudo, este papel foi realizado pelo esterco avícola. Os agroecossistemas conseguiram produzir fluxos de biomassa suficiente para a manutenção econômica de suas atividades, como também para manutenção ecológica de seus serviços.

Souza *et al.* (2008) e Campos *et al.* (2004), através de estudos de balanços energéticos, descreveram os cultivos orgânicos como mais sustentáveis se comparados aos convencionais, pelo fato de sua menor necessidade de entradas externas no ciclo produtivo e grande uso de recirculação de energia. Ferreira *et al.* (2013), consideraram sustentável um sistema de base ecológica de produção de alface, através da mesma metodologia.

5.3 Retornos de Investimento em Energia

Uma análise ampla de produção com enfoque energético permite revelar características agroecológicas antes ocultas em diagnósticos baseados em análises de fluxos simples de entrada e saída. Com isto, é possível ao pesquisador elucidar possibilidades de melhorar perfis de energia de agroecossistemas, assim como contrastar padrões de energia entre manejos no que diz respeito a este aspecto da sustentabilidade.

Logo após a estimativa dos fluxos produzidos pelos agroecossistemas estudados, foram realizados os cálculos das entradas externas dos mesmos, necessários para o uso da metodologia de retornos de investimento em energia. Nas tabelas 9 e 10 encontram-se as entradas externas utilizadas nos agroecossistemas e seus devidos valores energéticos durante os anos de 2013 e 2015.

Tabela 9- Entradas externas e quantidade de energia em uma mandala em 120 m² Quixeramobim, CE.

Especificação	Quantidade/Unidade	Total (kcal)	%
Moto bomba	1 unidade	4.487.967,000	48,17
Milho para animais	720 kg	3.114.720,000	33,43
Mão de obra familiar	Trabalho de 1 homem em um ano	876.000,000	9,40
Energia elétrica	216 reais	719.028,837	7,72
Bomba Costal	1 unidade	92.925,360	1,00
Sementes	3,24 kg	25.714,790	0,28
Biofertilizante	20 L	260,000	0,00
Total		6.203.062,390	100,00

Fonte: Elaboração do autor (2017)

Tabela 10- Entradas externas e quantidade de energia em uma horta orgânica em 6000m² no município de Pentecoste, CE.

Especificação	Quantidade/Unidade	Total (kcal)	%
Esterco	10620 kg	30.067.025,400	58,31
Moto bomba	1 unidade	8.975.934,000	17,41
Energia elétrica	2400 reais por ano	7.989.269,990	15,49
Combustível	180 litros	1.657.815,480	3,22
Mão de obra familiar	Trabalho de 1,5 homens em um ano	1.314.000,000	2,55
Mão de obra contratada	Trabalho de um homem em 192 dias	460.800,000	0,89
Sementes de coentro	72 pacotes	285.719,890	0,55
Sementes de pimentão	72 pacotes	285.719,890	0,55
Sementes de pimenta	72 pacotes	285.719,890	0,55
Mudas de cebolinha	36 pacotes	240.000,000	0,47
Total		51.562.004,530	100,00

Fonte: Elaboração do autor (2017)

No caso da mandala, os itens que mais oneraram nos débitos de energia foram os relacionados à irrigação dos cultivos, alimentação animal e mão de obra (98,72%). Já os demais componentes, relacionados à fertilização e sementes para cultivos, têm participação praticamente insignificante em termos de débitos de energia.

Na horta orgânica é possível perceber um alto débito energético com manutenção da fertilização através do esterco vindo de fora da propriedade (58,31%). Em seguida, os custos energéticos com irrigação também se mostram altos, um total de 36,12% relacionado à moto bomba, energia elétrica para seu funcionamento e combustível. A mão de obra representou 3,44% da energia total gasta para o funcionamento do sistema.

A pouca reutilização de energia dentro da horta elevou os débitos principais dentro do agroecossistema. Esta gastou 93,44% da energia total com irrigação e fertilização, enquanto na mandala houve um gasto de 83,94% com estes dois itens.

Com os cálculos das entradas externas totais dos agroecossistemas em análise, é possível expor os fluxos totais no agroecossistema durante o ano agrícola em questão. Estes estão presentes nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11- Fluxos totais de energia que circularam em uma mandala 120 m² em Quixeramobim, CE no ano de 2013.

Fluxo	Energia (kcal)
Biomassa socializada animal	604.013,76
Biomassa socializada vegetal	10.277.425,74
Biomassa reutilizada	5.678.958,21
Biomassa não colhida	15.069.186,61
Biomassa acumulada	260.240,20
Entradas externas	6.203.062,39

Fonte: Elaboração do autor (2017).

Tabela 12- Fluxos totais de energia em uma horta orgânica em 6000 m² no município de Pentecoste, CE no ano de 2015.

Fluxo	Energia (kcal)
Biomassa socializada animal	-
Biomassa socializada vegetal	98.692.842,81
Biomassa reutilizada	-
Biomassa não colhida	111.063.052,44
Biomassa acumulada	-
Entradas externas	51.562.004,53

Fonte: Elaboração do autor (2017)

Desta forma, foi possível realizar o cálculo dos EROIs final, interno, externo e agroecológico, assim como compará-los. Os EROIs dos dois agroecossistemas em estudo estão descritos na tabela 13.

Tabela 13- Retornos de Investimento em Energia em uma mandala e em uma horta orgânica nos anos de 2013 e 2015, respectivamente.

EROI	Mandala	Horta orgânica
Final	0,726	1,914
Externo	1,168	1,914
Interno	1,916	0,000
Agroecológico	0,350	0,607
Eroi agroecológico/ final	0,480	0,320

Fonte: Elaboração do autor (2017)

Quanto ao EROI final - que representa a eficiência do sistema por unidade de energia total investida - a horta orgânica se comporta de forma mais favorável (1,914) como fornecedora de energia à sociedade quando comparada à mandala (0,916). No cálculo do EROI final, a elevada reutilização de biomassa leva à diminuição do indicador, ou seja, fazer

uso de biomassa reutilizada requer abrir mão de EROIs finais altos. (GUZMÁN e MOLINA, 2015). O que explica o fato do EROI final da horta ser o dobro do encontrado na mandala.

Os EROIs finais encontrados no estudo são superiores ao valor encontrado por Scharamiski *et al.*, (2013), que assinalam como EROI de práticas convencionais, intensivas e mecanizada típicas da agricultura moderna (0,025), e se encontram em conformidade com o que os autores afirmaram como EROIs de práticas sustentáveis e orgânicas ($\geq 1,0$).

Pagani, Johnson e Vittuari (2017), em um estudo comparativo entre cultivos convencionais e orgânicos de arroz na Europa e nos Estados Unidos, obtiveram resultados significativos na redução da entrada de insumos (50%) na transição da agricultura convencional para a agricultura orgânica, com apenas 8% de queda no rendimento. Neste sentido, Lin *et al.* (2017), afirmaram que um manejo de agricultura, intermediária entre convêncional e orgânica, ajuda no aumento dos retornos do investimento feito em energia, sem diminuir o rendimento em materia seca dos cultivos, quando comparado com agriculturas convencionais especializadas.

Contudo, Andrea, Romanelli e Molin (2016) na produção convencional de soja, encontraram valores de 7,5 para EROI final, superiores aos encontrados no presente estudo, sendo a soja um alto fornecedor de energia bruta à sociedade. Isto pode ser atribuído ao fato de este cultivo ser um dos produtos agrícolas de maior teor energético (5182,12 Kcal/kg), quando comparado a cultivos hortícolas e demais envolvidos no estudo (em média 953,01 Kcal/kg), elevando o EROI final. Mesmo assim, no estudo citado, este indicador não revela o fator sustentabilidade do sistema, pois não é possível se afirmar através do EROI final se e quanto o agricultor está investindo nos fundos de manutenção e regulação dos serviços dos agroecossistemas.

De acordo com Pelletier *et al.* (2011), a criação de animais causa uma diminuição da eficiência energética nos agroecossistemas devido a sua menor capacidade de converter uma unidade de insumo em produto. Para o caso da mandala em estudo, existe um investimento de 33,43% da energia das entradas externas em alimentação para animais, com um retorno de apenas 5,55% em energia bruta contida em animais de criação.

Outro fator de relevância para os cultivos no semiárido são os débitos energéticos com investimento em tecnologias para irrigação. Hernanz *et al.* (2014) em seu estudo sobre modos de cultivo na Espanha, afirmaram que a produtividade energética de lavouras em plantio direto, cultivo mínimo e convencional aumentou linearmente com a quantidade de chuva, desde a semeadura, até a maturidade, sendo o plantio direto o que melhor respondeu a este fator. Provavelmente devido este ultimo sistema de manejo propiciar maior retenção de

umidade no solo. Oliveira (2014), em estudo de tecnologias de convivência com o semiárido, identificou em assentamentos rurais uma tendência a se priorizarem sistemas irrigados, em detrimento dos sistemas de sequeiro. Conforme apontaram os resultados referentes aos débitos de energia, identificados nas entradas externas (tabelas 11 e 12), o maior débito é devido ao uso da irrigação. O que sugere a necessidade de se estudar comparativamente os sistemas de sequeiro com os sistemas irrigados, bem como a eficiência dos diferentes métodos de irrigação.

O EROI externo, expressão dos retornos em energia por unidade de energia externa investida, foram próximos nos dois agroecossistemas, onde o agroecossistema de mandala produz 1,754 unidades de produto para cada unidade de energia externa investida, e a horta orgânica, 1,914 unidades.

Estes valores são inferiores aos encontrados por Neira (2016), em seu estudo a respeito de retornos de investimento em energia na cultura do cacau no Equador, onde os EROIs externos foram 2.93 para o tradicional, 1.47 para o tecnificado e 3.07 para o orgânico. Isto demonstra que a intensificação da produção de cacau reduz significativamente o EROI externo. O autor afirmou que fazendas orgânicas bem conduzidas permitem melhorar o EROI externo em comparação com as estratégias de gestão tecnificadas.

Apesar dos agroecossistemas estudados possuírem manejos orgânicos, aparentemente estes ainda não estão devidamente ajustados quanto a sua eficiência, sendo próximos ao valor de manejos convencionais do estudo citado. Para o caso da horta, a elevada importação de esterco para manutenção da fertilidade elevou os débitos de energia. Já na mandala, estes débitos foram elevados pelas tecnologias de irrigação (tabelas 11 e 12). Isto sugere que ambos os sistemas, apesar de orgânicos, ainda são muito dependentes de insumos externos.

No que diz respeito a retornos sobre investimento de energia interna e retorno por unidade de energia interna investida, a mandala em Quixeramobim superou a horta. A criação de animais, unida à produção agrícola nesta, foi capaz de gerar energia para socialização, além de fornecer adubo para o investimento nos cultivos quando comparada à horta orgânica, que não reutiliza nenhuma forma de energia produzida no estabelecimento.

Di Falco e Zoupanidou (2016), a partir de um estudo com bases de dados a respeito de agroecossistemas italianos, afirmaram que a diversificação de cultivos atua como estratégia possível para sustentar a produtividade quando os solos são menos férteis. Estes resultados evidenciam o importante papel da agrobiodiversidade na resiliência dos

agroecossistemas. No caso da horta, a agrobiodiversidade, de quatro cultivos é inferior à da mandala, de 10 cultivos e uma criação (tabelas 3 e 4).

Os resíduos provenientes do consumo familiar no agroecossistema de mandala foram fundamentais para o aumento do EROI interno. O uso de composto orgânico diminuiu a necessidade de insumos externos tornando o agroecossistema mais sustentável em longo prazo, pois este investe em reconstrução dos elementos essenciais de solo e biodiversidade.

O EROI agroecológico como medida da saúde geral do agroecossistema, mensurando não apenas os retornos sobre a parte produzida que foi socializada mostra que, apesar dos investimentos em sustentabilidade, os retornos para os dois agroecossistemas são baixos, sendo menor que uma unidade para cada unidade de energia investida.

No caso dos EROIs agroecológicos, a biomassa produzida é o resultado, não só da energia investida especificamente pela sociedade no funcionamento dos ecossistemas agrícolas, mas também tudo o que é reciclado sem intervenção humana. (GUZMÁN; MOLINA, 2015). Este EROI reflete o investimento total necessário para obter energia em forma de produtos. É possível, então, perceber que o EROI agroecológico da mandala (0,350) inferior ao da horta orgânica (0,607) indica que são necessários ainda maiores investimentos em reutilização total de biomassa para manter a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Guzmán e Molina (2015) mostraram em seu estudo sobre a mudança de manejo em um agroecossistema espanhol, ao longo de dois séculos, que o aumento da apropriação intensiva de biomassa pelo homem, ao diminuir a quantidade de biomassa deixada para sustentação das funções do agroecossistemas, assim como para a manutenção das cadeias alimentares paralelas ao mesmo, diminuiu a saúde do agroecossistema com declínio do EROI agroecológico.

As relações entre EROI agroecológico e final, medida da intensidade da intervenção humana e diversidade de paisagem, indicam a mandala como agroecossistema complexo, diverso e de grande intervenção humana, onde uma grande parcela da energia produzida é investida em recirculação, quando comparada a horta orgânica. Tello *et al.* (2016) em seu estudo sobre a mudança em um agroecossistema Catalão, de 1860 a 1999, revelou que a simplificação dos agroecossistemas, como exemplo no estudo com a intensiva criação de gado, modificou a diversidade de paisagem e a manutenção de fundos para a saúde do agroecossistema, tornando-o insustentável em longo prazo. Diversas entradas externas unidas a pouca diversidade de paisagem contribuíram para uma excessiva diminuição dos EROIS.

Gusmán Casado *et al.* (2014), ao analisarem a mudança em um agroecossistema representativo do clima mediterrâneo entre os anos de 1752 e 1904, através de estimativas e

dados históricos, alertaram em seu trabalho que, apesar do aumento dos retorno final de investimento em energia conseguido no século 20, a partir do aumento de tecnologias e produtividade agrícola, houve uma diminuição no investimento de fluxos de energia em reutilização para a biodiversidade, o que mostra a importância de uma análise não linear de fluxos de energia, que pode mascarar uma insustentabilidade do ecossistema em forma de esgotamento de fundos para manutenção da produtividade, exigindo cada vez mais entradas externas.

Os resultados encontrados neste estudo corroboram aqueles encontrados por Lima e Gamarra-Rojas (2017) no seu estudo econômico sobre a mesma mandala, no que diz respeito à importância da biodiversidade na manutenção do sistema. Este fator foi fundamental para a manutenção da segurança alimentar e nutricional da família, assim como promoveu a estabilidade da oferta de produtos durante o ano.

No mesmo estudo foi confirmado o papel da água como promotora da estabilidade de oferta nos cultivos em sua análise econômica, porém, quando se avalia o impacto desta tecnologia nos débitos de energia para o sistema, nota-se que é preciso estudar possibilidades de irrigação alternativas que tornem o agroecossistema mais sustentável.

Almeida (2015), em sua análise econômica sobre a horta orgânica em questão, afirmou também a importância da diversificação dos cultivos. Do ponto de vista do autor, o aumento da agrobiodiversidade ajudaria na estabilidade econômica, pois atenderia a um maior grupo de consumidores, assim como reduziria o orçamento familiar gasto na aquisição de alimentos, fortalecendo a segurança alimentar da família.

6 CONCLUSÕES

Foi apresentado no presente estudo a elaboração de uma base de dados contendo tabelas de conversão de fatores para biomassa e energia de produtos comumente cultivados na Região Semiárida do Nordeste do Brasil, baseada na bibliografia regional, nacional e internacional.

São necessárias mais pesquisas que abordem as condições do semiárido, que irão contribuir para o aumento do conhecimento a respeito das condições agronômicas da região, assim como trazer mais informações para a construção deste dispositivo como instrumento de difusão da pesquisa. Percebeu-se também uma deficiência de estudos e informações sobre sistemas de manejo orgânicos e agroecológicos que, nos últimos anos, têm sido difundidos na perspectiva da convivência com o semiárido.

A tabela de conversão de fatores não é um instrumento estático e deve ser ampliada com o passar do tempo, bem como melhorada a qualidade das informações. A utilização da base de dados para o cálculo de partições de biomassa em agroecossistemas, a fim de se fazer uso da metodologia de conversão de fatores, permitiu trazer à luz os complexos fluxos de biomassa e energia nos agroecossistemas estudados.

Ao demonstrar a participação relativa dos fluxos de biomassa e energia foi possível evidenciar as principais diferenças entre as formas de manejo estudadas, mostrando o papel da biomassa reutilizada como promotora de resiliência.

Os EROIs permitiram quantificar o bem-estar produtivo dos agroecossistemas, sendo uma ótima forma de comparação e material de auxílio para tomada de decisão dos produtores.

A horta orgânica se mostrou eficiente como fornecedora de energia à sociedade através dos EROIs final e externo. Porém, a mandala se apresenta como mais sustentável em longo prazo, devido a sua maior biodiversidade e preocupação com reinvestimento de energia para manutenção dos fundos de sustentação do agroecossistema. É possível perceber este fato através dos EROIs interno, agroecológico e da relação EROI agroecológico/EROI final. Desta forma, o EROI agroecológico se mostra eficiente como parâmetro de sustentabilidade.

A análise de agroecossistemas efetuada anteriormente nos mesmos sistemas aqui estudados, por meio de atributos sistêmicos, mostrou que a mandala teve desempenho satisfatório, sendo estes agroecossistemas considerados produtivos, estáveis, autônomos e promotores de equidade. O estudo por meio do EROIs permitiu revelar características antes pouco evidentes, como é o caso do parâmetro EROI final estar abaixo da unidade, o que

sugere a necessidade de se buscar maior eficiência. Desse modo, os resultados obtidos apontam *tradeoffs* entre diferentes atributos agroecossistêmicos e incitam a realização de estudos multidimensionais e interdisciplinares, incorporando variáveis econômicas, agronômicas, ecológicas, sociais e políticas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. de. **Produtividade, ciclagem de nutrientes e eficiência energética em função da diversidade vegetal em sistemas agrícolas e caatinga conservada**. 2012. 131p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ALBUQUERQUE, Í. A. **Características in vivo e de carcaça de ovinos e caprinos comercializados para abate no estado do Ceará**. 2013. 82p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- ALIER, J. M. Economia e Ecologia: questões fundamentais. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, n. 7, p. 99-115, 1988.
- ALMEIDA, A. V. R. de. **Análise agroeconômica comparativa temporal em sistema de cultivo orgânico no semiárido cearense**. 2015, 57f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa**. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989.
- ANDREA, M. C. S.; ROMANELLI, T. L.; MOLIN, J. P. Energy flows in lowland soybean production system in Brazil. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 8, p.1395-1400, ago. 2016. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782016000801395&lng=en&nrm=iso >. Acesso em: 07 jun. 2017.
- ARAÚJO FILHO, J. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara, 2013. 200p.
- ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A. T.; GONÇALVES JÚNIOR, A. F. C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Ambiência**, Guarapuava, v.5, n.3, p.443-455, 2009.
- BANSAL, R. K.; KSHIRSAGAR, K. G.; SANGLE, R. D. Efficient utilization of energy with an improved farming system for selected semi-arid tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 24, n. 4, p. 381-394, 1988.
- BARBOSA, L. C. A.; MARQUES, C. A. Sustentabilidade ambiental e postulados termodinâmicos à luz da obra de Nicholas Georgescu-Roegen. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, São Paulo, v.19, n. 2, p.1124-1132, 2015.
- BERTALANFFY, L. V. **General Systems Theory: foundations, development, applications** (revised edition). New York: George Braziller, 1968.
- CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p.1977-1985, 2004.

CAMPOS, A. T.; ZONIN, W. J.; SILVA, NARDEL, L. S.; GOUVEA, A.; GRECO, M. Balanço de energia em sistemas orgânico e convencional de produção de milho. *In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas, 2004 Disponível em: < http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022004000100028&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 22 jan. 2017.

CAPELLESSO, A. J.; CAZELLA, A. A. Indicador de sustentabilidade dos agroecossistemas: estudo de caso em áreas de cultivo de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 12, p. 2297-2303, 2012.

CAPORAL, F. R. **Agroecologia: uma ciência do campo da complexidade**. Brasília: MDS/Embrapa, 2009.

_____. Política Nacional de Ater: primeiros passos de sua implementação e alguns obstáculos e desafios a serem enfrentados. *In: TAVARES, J.; RAMOS, L. (Org.). Assistência técnica e extensão rural: construindo o conhecimento agroecológico*. Manaus: Bagaço, 2006. p. 09-34.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis*L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

COELHO, S. T.; MONTEIRO, M. B.; GHILARDI, A.; KARNIOL, M. R. **Atlas de bioenergia do Brasil**. São Paulo: Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), 2008.

CONWAY, G. R. Agroecosystem analysis. **Agricultural administration**, v. 20, n. 1, p.31-55, 1985.

DI FALCO, S.; ZOUPANIDOU, E. Soil fertility, crop biodiversity, and farmers' revenues: evidence from Italy. **Ambio**, São Paulo, p.1-11, 2016.

DOERING, J. P. Electronic energy levels of benzene below 7 eV. **The Journal of Chemical Physics**, New York, v. 67, n. 9, p. 4065-4070, 1977.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE, EDPE. **Inventário energético dos resíduos sólidos rurais**. Nota Técnica DAE, v. 15, p.14, 2011.

FERREIRA, L. L.; PORTO, V. C. N.; SILVA, J. R.; PAIVA, J. R. G. de; ALENCAR, R. D. Balanço energético do cultivo da alface em sistema de produção de base ecológica, nas condições do Brejo Paraibano. **Cadernos de Agroecologia**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 35-43, 2013.

FLORES MENGUAL, M. P., R. V. M. El valor nutritivo de los alimentos. **Nutrición animal**, Universidade de las Palmas de Gran Canaria, 2013. Disponível em: < <http://www.webs.ulpgc.es/nutranim/tema7.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

FLUCK, R. C. To evaluate labor energy in food production. **Agricultural Engineering**, London, v. 57, n.1, p. 31-32, 1976.

GAMARRA-ROJAS, G.; SILVA, N. C. G.; VIDAL, M. S. C. Contexto, (agri)cultura e interação no agroecossistema familiar do caju no semiárido brasileiro. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, São Paulo, v. 33, n. 2, maio/ago. 2016.

GAMARRA-ROJAS, G. **Coevolução ambiente sociedade no semiárido brasileiro: sustentabilidade dos agroecossistemas**. Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará - Leituras do Mestrado Acadêmico em Economia Rural (não publicado), Fortaleza, 2015.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento: entropia, ecologia, economia**. São Paulo: SENAC. Trad. Maria José Perillo Isaac. 2012.

GIULIETTI, A. M.; DU BOUQUÉ NETA, A. L.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; QUEIROZ, J. F. L. P., FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L.V.(org.) **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação** Brasília, DF (Brazil). 2004. p. 48-90.

GLAVIČ, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of cleaner production**, London, v.15, n. 18, p. 1875-1885, 2007.

GLIESSMAN, S. R.; ENGLES, E.; KRIEGER, R.. **Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture**. Washington: CRC Press, 1998. 347 p.

GLIESSMANN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 658 p.

Gupta A. **Tropical Geomorphology**. New York: Cambridge University Press, 2011.

GUZMÁN, E. S. Uma estratégia de sustentabilidade a partir da agroecologia. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, Porto Alegre, v. 2, n.1, p. 35-45, 2001.

GUZMÁN, E. S.; MOLINA, M. G. de. **Sobre a evolução do conceito de campesinato**. São Paulo: Expressão Popular. 2005.

GUZMÁN CASADO, G.; FERNÁNDEZ, D. S.; CID, A.; AMATE, J. I.; RUIZ, R. G.; HERRERA, A.; VILLA, I.; MOLINA, M. G. **Methodology and conversion factors to estimate the net primary productivity of historical and contemporary agroecosystems**, 2014. (Sociedad Española de Historia Agraria, Documento de Trabajo, DT-SEHA No 1406). Disponível em: < www.seha.info > Acesso em: 10 dez. 2016.

GUZMÁN, G. I.; MOLINA, M. G. Energy efficiency in agrarian systems from an agroecological perspective. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, London, v. 39, n. 8, p. 924-952, 2015.

HALL, C. A. EROI and Industrial Economies. In: HALL, C. A. S.; KENT A. K. **Energy Return on Investment**. New York: Springer International Publishing, 2017. p. 107-117.

HERNANZ, J. L.; SANCHEZ-GIRON, V.; NAVARRETE, L.; SANCHEZ, M. J.; Long-term (1983–2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. **Field Crops Research**, New York, v. 166, p. 26-37, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2005. Estimativas, projeções e populações de 2010. [acesso 2016 ago 26]. Disponível em: <www.ibge.gov.br>

JUNQUEIRA, A. A. B; CRISCUOLO, P. D.; PINO, F. A. O uso da energia na agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 29, p. 55-100, 1982.

KHATOUNIAN, C. A. **As escolas em agricultura ecológica**. São Paulo: IAPAR, 2001.

KIEFER, T. A. **Energy insecurity: the false promise of liquid biofuels**. Washington DC: Air War Coll Maxwell AFB AL, 2013.

KOOCHEKI, A.; GLIESSMAN, S. R. Pastoral nomadism, a sustainable system for grazing land management in arid areas. **Journal of Sustainable Agriculture**, New York, v. 25, n. 4, p.113-131, 2005.

KRAEMER, M. F. E. **Agricultura e estratégias de reprodução socioeconômica no Quilombo do Morro Alto–Maquiné/RS: cenários de desenvolvimento local através da análise de sistemas agrários**. 2012. 180p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

LIMA, R. V. de. **Contribuição da Mandalla à sustentabilidade de um núcleo familiar do Assentamento Nova Ladeira, Quixeramobim – CE**. 2013. 53p. Monografia (Graduação em Agronomia) Centro de Ciências Agrárias Universidade Federal do Ceará. da Fortaleza, 2013.

LIMA, R. V. de; GAMARRA-ROJAS, G. Camponeses e a mandalla no semiárido brasileiro: reflexões sobre sustentabilidade a partir de um estudo de caso com abordagem agroecossistêmica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, 2017. (no prelo)

LIMA JÚNIOR, C.. **Potencial do aproveitamento energético de fontes de biomassa na região Nordeste do Brasil**. 2013. 74p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013.

LIN, H. C.; HUBER, J. A.; GERL, G.; HUELSBERGEN, K. -J. Effects of changing farm management and farm structure on energy balance and energy-use efficiency—A case study of organic and conventional farming systems in southern Germany. **European Journal of Agronomy**, London, v. 82, p. 242-253, 2017.

MARTÍNEZ-ALIER, J. **Introducción a la economía ecológica**. Barcelona: Rubes, 2000.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do Neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: UNESP, 2010.

MEADOWS, D. H. **Thinking in systems: a primer**. London: Earthscan, 2009. 218p.

MIGUEL, L. A. **Dinâmica de diferenciação de sistemas agrários**. Porto Alegre: editora da UFRGS, 2009.

MOREIRA, J. M. M. A. P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Brazilian Journal of Forest Research/Pesquisa Florestal Brasileira**, São Paulo, v. 31, n. 68, 2011.

NEIRA, D. P. Energy efficiency of cacao agroforestry under traditional and organic management. **Agronomy for Sustainable Development**, London, v. 36, n. 3, p. 49, 2016.

OLIVEIRA, A. de. Energia & Sociedade. **Ciência Hoje**, Porto Alegre, v. 5, n. 29, p. 30-38, 1987.

OLIVEIRA, L.C. **Sustentabilidade da produção agropecuária e das tecnologias de captação e armazenamento de água da comunidade Paus Brancos, Assentamento 25 de maio, em Madalena/CE**. 2014. 54p. Monografia (Graduação em Agronomia). Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.

PAGANI, M.; JOHNSON, T. G.; VITTUARI, M. Energy input in conventional and organic paddy rice production in Missouri and Italy: a comparative case study. **Journal of Environmental Management**, London, v. 188, p. 173-182, 2017.

PELLETIER, N.; AUDSLEY, E.; BRODT, S.; GARNETT, T.; HENRIKSSON, P.; KENDALL, A.; KRAMER, K. J.; MURPHY, D.; NEMECEK, T.; TROELL, M. Energy intensity of agriculture and food systems. **Annual review of environment and resources**, Melbourne, v. 36, p. 223-246, 2011.

PERVANÇHON, F.; BOCKSTALLER, C.; GIRARDIN, Ph. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. **Agricultural systems**, London, v. 72, n. 2, p. 149-172, 2002.

PLAZA, E. H. La conservación de la biodiversidad en los sistemas agrarios. **Revista Ecosistemas**, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 1-4, 2013.

PIMENTEL, D.; HURD, L. E. L.; BELLOTTI, A. C.; FORSTER, M. J.; OKA, I. N.; SHOLES, O. D.; WHITMAN, R. J. Food production and the energy crises. **Science**, New York, v. 182, p. 443-9, 1973.

PIMENTEL, D.; HEPPELRY, P.; HANSON, J.; DOUDS, D.; SEIDEL, R. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. **BioScience**, London, v. 55, n. 7, p. 573-582, 2005.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philosophical transactions of the royal society b: biological sciences**, London, v. 363, n. 1491, p. 447-465, 2008.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. F. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: E Feevale, 2013.

SAKURAI, K. HDT 17: **Método sencillo del análisis de residuos sólidos**. Organización Panamericana de la Salud, 2004. Disponível em: < <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bv-residuos.shtml> > Acesso em: 29 jan. 2017.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 25-36, 2004.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, SFB. **Florestas do Brasil em resumo**: dados de 2007 a 2012. Brasília: SFB; 2013.

SERRA, G. E.; HEEZEN, A. M.; MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. **The energetics of alternative biomass sources for ethanol production in Brazil**. Califórnia: s.n., 1979. 12p.

SOUZA, J. L. de ; CASALI, V. W. D ; SANTOS, R. H. S.; CECON, P. R. Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 433-440, 2008.

TELLO, E.; GALÁN, E.; CUNFER, G.; GUZMÁN-CASADO, G. I; MOLINA, M. G.; KRAUSMANN, F.; GINGRICH, .; SACRISTÁN, V.; MARCO, I.; PADRÓ, R.; MORENO-DELGADO, D. Opening the black box of energy throughputs in farm systems: a decomposition analysis between the energy returns to external inputs, internal biomass reuses and total inputs consumed (the Vallès County, Catalonia, c. 1860 and 1999). **Ecological Economics**, New York, v. 21, p.160-174, 2016.

TOLEDO, V. M.; ALARCÓN-CHAIRES, P.; BARÓN, L. **La modernización rural de México**: un análisis socioecológico. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2002.

TOLEDO, V. M.; MOLINA, M. G. El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. *In*: GARRIDO, F.; SERRANO, J. L.; SOLANA, J. L.; MOLINA, M. G.. **El paradigma ecológico en las ciencias sociales**. Barcelona: Icaria, 2007. p. 85-112.

TOLEDO, V. M. Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. **Revibec**: Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica, Barcelona, v.7, p.1-26, 2008.

_____. El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. **Relaciones (Zamora)**, Barcelona, v. 34, n. 136, p. 41-71, 2013.

UDRY, M. C.; ARAÚJO, M. de. Agroecologia e desenvolvimento sustentável. **Revista de Política Agrícola**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 133-135, 2012.

VILLARROEL, A. B. S.; LIMA, L. E. S.; OLIVEIRA, S. M. P. de; FERNANDES, A. A. O. Ganho de peso e rendimento de carcaça de cordeiros mestiços Texel e Santa Inês x SRD em sistema de manejo semi intensivo. **Ciência e Agrotecnologia**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 971-976, 2006.