



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

GERMANA GOMESDOS SANTOS CAMELO

FLUXOS DE NUTRIENTES EM PROPRIEDADES RURAIS NA REGIÃO
SEMIÁRIDA DO BRASIL

FORTALEZA

2015

GERMANA GOMES DOS SANTOS CAMELO

**FLUXOS DE NUTRIENTES EM PROPRIEDADES RURAIS NA REGIÃO
SEMIÁRIDA DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Orientador: Prof. Dr. Julius Blum.

FORTALEZA

2015

GERMANA GOMES DOS SANTOS CAMELO

**FLUXOS DE NUTRIENTES EM PROPRIEDADES RURAIS NA REGIÃO SEMIÁRIDA
DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Julius Blum

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Julius Blum (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Guillermo Gamarra Rojas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Henrique Antunes de Souza
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Dedico este trabalho a toda a minha família em especial a minha mãe Francisca Gomes dos Santos, sua simplicidade, perseverança, amor e dedicação foram exemplares e imprescindíveis para a minha formação em todos os sentidos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que tem estado sempre a meu lado, pela fé me fortalecendo e sempre guiando meus passos.

A toda a minha família e amigos pelo carinho, compreensão e ensinamentos.

A Universidade Federal do Ceará e ao programa de Pós-graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade da realização do mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa durante o curso.

Aos docentes do programa de Pós-graduação em Solos e nutrição de plantas pelos ensinamentos transmitidos no decorrer do curso.

Ao professor Julius Blum, pela orientação, empenho, dedicação, incentivo e paciência que tornaram possível a realização desse trabalho.

A empresa de assistência técnica e extensão rural do Ceará (EMATERCE) pelo apoio concedido para a realização e condução do experimento em Redenção, Ceará.

A professora Susana Churca Blum pela sua disponibilidade e colaboração e a seus orientados Gabriel e Francisco pelo auxílio na coleta das amostras.

A professora Miriam Costa pela disponibilização do laboratório para a realização das análises de solo.

Ao aluno de graduação em Agronomia Raí Rebouças pelo auxílio em algumas atividades.

Aos colegas de turma pela troca de conhecimentos e aprendizado durante o curso em especial a Fabiana Amarante, Elimário Teixeira e Thiago Castañon pela amizade consideração e companheirismo.

A Magnum de Souza Pereira pela disponibilidade e ajuda concedidas durante o curso.

E a todos que não mencionei aqui mais que de alguma forma contribuíram para esse trabalho. Muito obrigado!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível. ”

Charles Chaplin

RESUMO

As principais fontes de nutrientes utilizadas na agricultura proveem da exploração de reservas minerais de nutrientes ou combustíveis fósseis, ambos recursos não renováveis e finitos. A maior eficácia na ciclagem de nutrientes por ciclos internos e externos às propriedades agrícolas aumenta a eficiência de utilização dos nutrientes na propriedade diminuindo a dependência de insumos externos e consequentemente a sustentabilidade da produção agrícola. O presente estudo objetivou quantificar fluxos de nutrientes em propriedades rurais, possibilitando o reconhecimento estratégias de gestão capazes de viabilizar a ciclagem de P e K em sistemas agrícolas de produção. O estudo foi conduzido no município de Redenção, através de entrevistas à produtores rurais selecionados de acordo com a representatividade local e predominância na região semiárida. A propriedade rural foi considerada como um sistema constituído por processos de produção vegetal, animal e de consumo, classificadas em classes, A e B com base no grau de diversidade e interação nos processos de produção animal e vegetal. A determinação dos fluxos de materiais foi realizada por levantamento da entrada de alimentos e insumos para a produção agrícola e pecuária e saída de produtos ou resíduos em cada processo. O fluxo de nutrientes foi determinado a partir dos fluxos de materiais e o teor de minerais em cada material, obtido a partir de revisão bibliográfica. A propagação de erros envolvidos e o mapeamento dos fluxos de nutrientes foi realizado através do programa computacional STAN. Foram coletadas amostras de solo para a determinação do estoque de P e K em uma cronosequência de processos de produção de caju com 0, 6, 7, 8 e 13 anos de idade de produtores pertencentes à classe A, com propósito de relacionar os fluxos de nutrientes com a variação nos estoques ao longo do tempo. O P vem sendo aplicado em quantidades elevadas por meio de fertilizantes orgânicos no sistema, resultando em uma baixa eficiência da utilização do mesmo. A produção de mandioca revelou-se como principal dreno de K do sistema, sendo, portanto, o levantamento e análise dos resíduos produzidos no processamento da mesma o próximo passo para identificar estratégias para possibilitar os ciclos alimentares de K. O mapeamento dos fluxos não identificou nenhuma ciclagem de nutrientes. O diferente grau de diversidade e interações entre as atividades restringiram-se a fluxos gerados a partir da produção vegetal para a produção animal.

Palavras-chave: Ciclo alimentar de nutrientes, sistemas de produção agrícola, sustentabilidade, análise de fluxo de nutrientes.

ABSTRACT

The main sources of nutrients used in agriculture come from the exploitation of mineral reserves of nutrients or fossil fuels, both non-renewable and finite resources. Higher effectiveness in nutrient cycling increases the efficiency of nutrients use, decreasing the dependence on external inputs and increasing the sustainability of the farm system. The present study aimed to quantify nutrient fluxes in farm systems, enabling the establishment of management strategies to allow P and K cycling in agricultural production systems. The study was conducted at municipality of Redenção, Ceará State, Brazil, through interviews with selected farmers, according to the local predominance. The farm was considered as a system composed by processes of human consumption, plant and animal production. Farm systems were classified into classes A and B based on the degree of diversity and interaction between processes. Evaluated material flows were mainly composed by animal food and agricultural inputs and goods and waste outputs in each process. The flow of nutrients was calculated from the material flows and the mineral content in each material, obtained from literature review. Error propagation and nutrient flows representation were carried out using the software STAN. Soil samples were collected to determine P and K stock in a chronosequence of cashew production processes with 0, 6, 7, 8 and 13 years old, with purpose to associate nutrient flows to the variation in nutrient soil stocks over time. Large amounts of P were added to the systems by use of organic fertilizers, resulting in a low efficiency of using of this nutrient. The production of cassava proved main drain system K, and therefore the survey and analysis of waste produced in the cassava processing may be the next step to identify strategies to enable K cycling. It was not possible to identify any nutrient cycling in the evaluated systems. The different degree of diversity and interactions between activities were restricted to flows from crop to animal production.

Keywords: nutrient food cycling, farm systems, sustainability, nutrient flow analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Estado do Ceará, município de Redenção em destaque.	20
Figura 2 -	Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe A.	34
Figura 3 -	Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe B.	35
Figura 4 -	Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe A.	40
Figura 5 -	Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe B.	41
Figura 6 -	Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe A.	45
Figura 7 -	Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe B.	46
Figura 8 -	Variação dos estoques de P e K do solo.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Processo final de divisão dos produtores nas classes A e B.	24
Tabela 2 -	Teor de nutrientes presentes nos produtos quantificados no estudo.	26
Tabela 3 -	Número médio de animais por espécie em cada classe.....	29
Tabela 4 -	Produção e produtividade média para o cultivo solteiro e consorcio dos processos de produção vegetal da classe A.	30
Tabela 5 -	Produção e produtividade média para o cultivo solteiro e consorcio dos processos de produção vegetal da classe B.	31
Tabela 6 -	Fluxos de P entre o sistema e os processos e entre processos dentro do sistema, classe A.	38
Tabela 7 -	Fluxos de P entre o sistema e os processos e entre processos dentro do sistema, classe B.	39
Tabela 8 -	Fluxos de K entre o sistema e os processos e entre processos dentro do sistema, classe A.	44
Tabela 9 -	Fluxos de K entre o sistema e os processos e entre processos dentro do sistema, classe B.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	Práticas de manejo indicadas para fortalecer a ciclagem e eficiência do uso de nutrientes.....	13
2.2	Balanco de nutrientes na agricultura.....	15
2.3	Origem e sustentabilidade de nutrientes para a agricultura.....	16
2.4	Análise de fluxo de materiais (AFM)	18
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1	Localização do experimento.....	20
3.2	Seleção dos produtores a serem entrevistados.....	21
3.3	Entrevista aos produtores.....	22
3.4	Divisão das propriedades em classes.....	22
3.5	Mapeamento do fluxo de materiais e nutrientes.....	25
3.6	Amostragem de solo para análise da densidade e dos teores do fósforo (P) e do potássio (K)	27
4	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	28
4.1	Caracterização e classificação dos sistemas produtivos locais.....	28
4.2	Fluxos de materiais.....	32
4.3	Fluxos de nutrientes – Fósforo.....	36
4.4	Fluxos de nutrientes – Potássio.....	42
4.5	Estoque de nutrientes.....	47
5	CONCLUSÃO.....	48
	REFERÊNCIAS.....	49
	APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO DURANTE A ENTREVISTA AOS PRODUTORES	55

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a importância do desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis tem sido destacada nos meios de comunicação científica (PASSEL; MEUL, 2012). Dentre outros requerimentos, a sustentabilidade do sistema de produção agrícola requer o desenvolvimento de práticas de manejo que objetivam produzir evitando o uso de fertilizantes industrializados. Pois a produção industrial de fertilizantes nitrogenados demanda elevada quantidade de energia proveniente da exploração de reservas limitadas de combustíveis fósseis e as reservas minerais de nutrientes, principalmente de fósforo estão tornando-se escassas (COOPER et al., 2011). Nesse contexto, a ciclagem de nutrientes é fundamental, pois aumenta a eficiência da utilização dos nutrientes na propriedade, diminuindo a dependência de insumos externos (LEIFELD, 2012; TUOMISTO et al., 2012).

A eficiência de utilização dos nutrientes, e conseqüentemente a capacidade de ciclagem de nutrientes do sistema é inversamente proporcional às perdas de nutrientes do mesmo (VAN NOORDWIJK, 1999). Qualquer sistema de produção agrícola acarreta perdas não intencionais de nutrientes por lixiviação, erosão e emissões de gases (KIRCHMANN; KATTERER; BERGSTRO, 2008). Essas perdas de nutrientes podem ser parcialmente evitadas por práticas de manejo tais como: rotação de culturas, utilização de leguminosas, integração animal na propriedade; incrementando dessa forma a ciclagem de nutrientes dentro da propriedade rural. No entanto, mesmo que a ciclagem interna de nutrientes seja eficiente, parte dos nutrientes do sistema é inevitavelmente exportada com a produção agrícola, sendo impossível que a ciclagem interna de nutrientes seja suficiente para suprir as necessidades de um sistema agrícola indefinidamente. Sendo necessária, portanto, a reposição dos nutrientes exportados para a manutenção da fertilidade do solo agrícola.

Porém os nutrientes exportados com a produção agrícola não são necessariamente perdidos, pois estes nutrientes podem retornar para o sistema de produção agrícola por meio dos ciclos de nutrientes externos à propriedade, também conhecidos como ciclos alimentares de nutrientes (KIRCHMANN; KATTERER; BERGSTRO, 2008). Os ciclos alimentares de nutrientes ocorrem quando resíduos animais, industriais ou humanos são utilizados para fornecer nutrientes para o sistema de produção agrícola. A maior eficácia na ciclagem de nutrientes durante os ciclos agrícolas e alimentares é essencial para a conservação do solo e outros recursos naturais assim como para diminuição do risco da perda de produtividade. A diversificação e as interações entre atividades dentro da propriedade agrícola são estratégias que restringem a saída de produtos da propriedade e permitem a utilização de uma maior

gama de resíduos gerados externamente, incrementando ciclos internos e externos de nutrientes (RUFINO et al., 2009), conseqüentemente gerando maior viabilidade e sustentabilidade da unidade de produção. Havendo além da manutenção dos estoques de nutrientes do solo, menor necessidade de importação de nutrientes de outros ecossistemas que poderiam sofrer perturbações, devido à retirada desses nutrientes.

O rápido consumo de recursos naturais e degradação de solos ao redor do globo (FOLEY et al., 2005) levam à hipótese de que os ciclos alimentares de nutrientes não estão ocorrendo em toda a sua potencialidade, sendo necessários estudos orientados para identificar as relações entre estrutura e funcionamento do agroecossistema (DORÉ et al., 2011). Embora existam diversas estratégias que visam diminuir a dependência externa de nutrientes na agricultura, estudos relacionados ao balanço de nutrientes indicam que na maioria das vezes os sistemas agrícolas têm elevada dependência de insumos externos (CONNOR, 2008). Para diminuir essa dependência, é necessário estudar e identificar, dentro de contextos regionais, quais as estratégias são mais eficientes para esse fim, melhorando ciclos de nutrientes internos e externos à propriedade. O mapeamento dos fluxos de nutrientes na cadeia de produção e consumo de alimentos é o ponto de partida para a identificação ou desenvolvimento dessas estratégias. Dentre os nutrientes o N, o P e o K são mais frequentemente aplicados via fertilizantes minerais, despertando preocupações sobre a sustentabilidade do uso dos mesmos. No entanto, devido à complexidade de interações do N com o solo e com a planta, estudos que quantificam os fluxos de N em nível de fazenda necessitam de grande quantidade de detalhes, demandando de grande disponibilidade de tempo e recursos. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi de reconhecer estratégias que viabilizem os ciclos alimentares de P e K em sistemas de produção agrícola. Para cumprir com esse objetivo, foi realizada a identificação de fontes e sumidouros de resíduos a partir do mapeamento dos fluxos dos nutrientes em propriedades com diferentes graus de diversidade e interação entre atividades, permitindo uma ampla visualização de alternativas de gestão sustentável de recursos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Práticas de manejo indicadas para fortalecer a ciclagem e eficiência do uso de nutrientes

O principal desafio relacionado à melhoria da sustentabilidade em sistemas agrícolas é aumentar a produtividade sem causar danos ao ambiente (TUOMISTO et al., 2012). Com as pressões ambientais, econômicas e de energia, aumenta a urgência em melhorar a sustentabilidade da agricultura a partir do uso dos recursos locais para gerar fertilidade dentro do sistema de exploração, limitando o uso de insumos externos (REEVE; CARPENTER-BOGGS; SEHMSDORF, 2011). Para que o sistema agrícola seja sustentável os nutrientes removidos pelas plantas ou perdidos do solo devem ser repostos para evitar o seu esgotamento, mantendo a disponibilidade de nutrientes para as plantas (KIRCHMAN et al., 2008), sem degradar recursos internos e externos à propriedade (KIRCHMAN et al., 2008). Para essa finalidade é necessário o desenvolvimento de estratégias para fechar os ciclos de nutrientes garantindo rendimento ótimo com perdas mínimas de nutrientes para o meio ambiente (DUNGAIT et al., 2012). Portanto, aprender a aperfeiçoar um sistema local pode ser a escolha mais adequada, quando confrontado com a alternativa de insumos caros e não renováveis (REEVE; CARPENTER-BOGGS; SEHMSDORF, 2011).

Existem várias práticas de manejo que diminuem as perdas de nutrientes do sistema agrícola a partir da otimização da ciclagem interna de nutrientes. Essas práticas compreendem desde o armazenamento e tratamento de resíduos orgânicos, até o planejamento da complexidade das interações nas áreas de produção. Práticas relativas ao armazenamento e aplicação de resíduos orgânicos podem melhorar a eficiência da ciclagem de N. Como exemplos, podemos citar que as perdas de N podem ser diminuídas em até 22% com a cobertura da pilha de estrume durante o armazenamento (RUFINO et al., 2007). Já a incorporação rápida do esterco ao solo, dentro de 48 horas, pode diminuir as perdas de N por volatilização em até 31% (SMITH et al., 2009). Outro exemplo é a utilização de biodigestores auxiliando na mineralização de nutrientes de resíduos orgânicos, facilitando o planejamento da fertilização e melhorando a eficiência da utilização dos nutrientes pelas culturas (LEHTOMÄKI, 2006).

Alguns exemplos de práticas de manejo usadas no planejamento das interações no sistema de produção são: manejo de resíduos de culturas, utilização de cobertura morta em combinação com a não mobilização do solo, culturas intercalares de leguminosas, rotação de

culturas, utilização de leguminosas, integração animal na propriedade (PLACE et al., 2003; TITTONELL et al., 2012; TUOMISTO et al., 2012). A integração com gado tem sido sugerida como um meio para reciclar e transferir P a partir de material vegetal consumido pelos animais de volta para o solo em formas mais disponíveis para as plantas (WILLIAMS; HAYNES, 1995). A matemática da eficiência de ciclagem de nutrientes em sistemas agrícolas integrados com produção animal é simples: Cerca de 60 a 70% dos nutrientes ingeridos pelos animais acabam em seus dejetos (BRAVO et al., 2003). Desse modo, se o animal está integrado à propriedade em que seu alimento é produzido, cerca de 60 a 70% dos nutrientes presentes em seus alimentos podem ser reciclados, o que não aconteceria em sistemas especializados de produção animal.

De um modo geral, a eficiência da ciclagem de nutrientes aumenta com a complexidade das interações dentro da propriedade (RUFINO et al., 2009). A utilização da policultura e a integração animal na agricultura são exemplos de práticas que promovem a diversificação e interação entre espécies e atividades, gerando equilíbrio e garantindo eficiência na ciclagem de nutrientes (GRANSTEDT, 2000). Estratégias de manejo de nutriente devem priorizar a construção da fertilidade do solo em longo prazo, por exemplo, através do aumento de insumos orgânicos e melhorias nas rotações (WATSON et al., 2002). Deste modo, a adoção de sistemas orgânicos de produção de alimentos também pode melhorar a ciclagem de nutrientes e a sustentabilidade dos meios de produção (WATSON et al., 2002), pois seus princípios visam minimizar ao máximo os impactos ambientais mantendo um nível economicamente viável de produção (STOLZE et al., 2000). Esses princípios tornam-se cada vez mais importantes no cenário de produção agrícola mundial, à medida que os recursos para a produção de alimentos estão se tornando escassos (COLLETE et al., 2014). Além dos efeitos diretos do manejo orgânico na ciclagem de nutrientes, podem ocorrer efeitos indiretos. Como o sistema de produção orgânico normalmente implica em um maior aporte de material orgânico no solo pode haver interação desse material orgânico com os colóides do solo e nutrientes. No Nordeste do Brasil, por exemplo, Xavier et al., (2009) verificaram que houve aumento nas formas disponíveis P no solo, ocasionado pela diminuição da taxa de transformação do P inorgânico em formas de P mais estáveis devido à interação com a matéria orgânica. O aumento da matéria orgânica no solo pode ainda melhorar a retenção de cátions no solo, evitando perdas por lixiviação (RONQUIM, 2010).

Apesar de existirem diversas práticas com objetivo de melhorar a ciclagem de nutrientes dentro da propriedade rural, a necessidade de aporte de nutrientes externos não pode ser descartada para a manutenção da produtividade em longo prazo, pois em qualquer

sistema agrícola ocorrem perdas inevitáveis por erosão, lixiviação, volatilização e principalmente remoção pelas colheitas (KIRCHMANN; KATTERER; BERGSTRO, 2008). No entanto, o conhecimento dos fluxos e estoques de produtos e resíduos no sistema de produção e consumo de alimentos pode colaborar tanto para a implementação ou aperfeiçoamento de estratégias que visem diminuir a perda de nutrientes por erosão, lixiviação, volatilização quanto para a reutilização no sistema agrícola dos nutrientes removidos pelas colheitas.

2.2 Balanço de nutrientes na agricultura

Uma variável importante para avaliar a eficiência da ciclagem de nutrientes dentro da propriedade é o balanço de nutrientes (LESSCHEN et al.,2007; OENEMA; KROS; VRIES, 2003). O balanço de nutrientes é a relação entre a entrada e a saída de nutrientes do sistema agrícola (BATIONO; LOMPO; KOALA, 1998). Se a quantidade exportada de nutrientes nos produtos agrícolas for igual à quantidade aportada e a fertilidade do solo e produtividade das culturas for mantida ao longo do tempo, é porque não existem perdas não intencionais de nutrientes, portanto, a ciclagem interna é eficiente. O estudo do balanço de nutrientes é importante porque sistemas agrícolas com desbalanço grave ou contínuo não são sustentáveis em longo prazo (HARRIS, 1998; HARTEMINK, 2006). Pois as remoções de nutrientes causadas pela colheita dos produtos e resíduos de culturas cultivadas são geralmente as principais vias de perdas de nutrientes dos solos agrícolas (ESILABA et al., 2005), resultando em deficiências de nutrientes, caso esses não sejam repostos.

A quantidade de nutrientes exportados varia consideravelmente dependendo tipo de cultura, tipo de solo, prática agrônômica e absorção de nutrientes pela planta (BRADY; WEIL, 2002). Deste modo, o sistema de cultivo utilizado pode influenciar no balanço de nutrientes, por exemplo, Carey et al. (2009) observou que as entradas dos nutrientes N, K, S, Ca e Mg em sistema orgânico de produção foram 50% menor que em cultivo convencional, equilibrando dessa forma o balanço de nutrientes. Semelhante ao estudo de Tuomisto et al. (2012), que também constataram que os sistemas orgânicos tinham entradas de fósforo com percentual 55% menor em comparação com os sistemas convencionais. No entanto outros autores também observam aporte menor do que as exportações de nutrientes em sistemas orgânicos (MÖLLER, 2009; STOORVOGEL; SMALING, 1990), podendo resultar em déficit de nutrientes no solo. Práticas agrícolas com baixa entrada de nutrientes, como frequentemente encontradas em países tropicais, podem resultar no esgotamento dos estoques

de nutrientes no solo, ameaçando seriamente o futuro da produção agrícola, como em muitos países africanos (STOORVOGEL; SMALING, 1990).

Como afirmado anteriormente, o balanço de nutrientes equilibrado pode ser um indicador da eficiência da ciclagem de nutrientes interna de uma propriedade, desde que a fertilidade do solo e a produtividade das culturas sejam mantidas ao longo do tempo. No entanto, isso não comprova a sustentabilidade na manutenção da fertilidade do solo, pois os nutrientes exportados pela produção agrícola podem estar sendo repostos a partir de fontes não sustentáveis.

2.3 Origem e sustentabilidade de nutrientes para a agricultura

As principais fontes de nutrientes utilizadas na agricultura provêm da exploração de recursos minerais. Somente na Europa no ano de 2010, o uso de fertilizantes minerais foi de 10,4 milhões de toneladas de nitrogênio (N), 2,4 milhões de toneladas de fosfato (P_2O_5) e 2,7 milhões de toneladas de cloreto de potássio (K_2O) (VANEECKHAUTE et al., 2013). O consumo de quantidade elevada de fertilizantes requer atenção especial por serem derivados de reservas minerais ou produzidos a partir de energia fóssil, sendo que ambos são recursos naturais não renováveis e finitos.

A escassez de fontes de rochas fosfáticas está entre as preocupações mais importantes, tendo em vista que cerca de 60% do fósforo aplicado em áreas de cultivo vem da rocha fosfática (CORDELL; WHITE, 2010; LIU et al., 2008; SMIT et al., 2009). A distribuição global das reservas de rocha fosfática é preocupante, sendo que oitenta e seis por cento das reservas concentram-se em cinco países (JASINKI, 2011), destacando-se os países africanos com cinquenta por cento das reservas (VUUREN; BOWNMAN; BEUSEN, 2010). Embora as reservas globais possam durar entre 300 e 400 anos, as reservas da maioria dos países serão esgotadas dentro de 100 anos (COOPER et al., 2011). Outro tema de destaque quando se trata de sustentabilidade da produção agrícola é o consumo de energia, pois a matriz energética global é baseada em combustíveis fósseis, não renováveis. Sendo que a produção de fertilizantes é citada como a segundo maior dreno de energia para a produção agrícola (Santos et al., 2001). Dessa forma com o aumento da produção e da produtividade a agricultura moderna tornou-se altamente dependente de fontes não renováveis de energia (CORDELL; DRANGERT; WHITE, 2009). Essa preocupação tende a se agravar com o evidente aumento da demanda por fertilizantes em longo prazo devido ao aumento da

população e conseqüente demanda de produtos agrícolas (CHILDERS et al, 2011; SMITH et al., 2009).

Na agricultura orgânica, apesar do consumo de fertilizantes minerais serem reduzidos (MÖLLER, 2009), também existe preocupações quanto à sustentabilidade da utilização de nutrientes. Pois em muitos casos, mesmo em sistemas orgânicos de produção, existe dependência de insumos comprados a partir de fornecedores comerciais (CAREY; BENGE; HAYNES, 2009). Kirchmann, Katterer e Bergstro (2008), encontraram uma grande dependência de fazendas orgânicas em nutrientes provenientes da agricultura convencional, portanto, dependência indireta de fertilizantes minerais. Em seu trabalho o autor cita ainda, que antigas práticas agrícolas da Europa, que objetivavam diminuir o esgotamento de nutrientes do solo, pela remoção e transporte de matéria orgânica de ecossistemas adjacentes para o solo arável, resultaram no empobrecimento dos ecossistemas naturais que se tornou necessário para compensar as perdas dos nutrientes desses ecossistemas.

Existem ainda outros problemas relacionados à utilização de esterco animal, grandes quantidades em longo prazo podem aumentar o risco de perdas de nutrientes para águas superficiais e subterrâneas (NOVAK et al., 2000). Devido à baixa taxa de mineralização de nutrientes em alguns resíduos orgânicos, esses são aplicados em doses elevadas e se acumulam no solo e os nutrientes remanescentes nos resíduos serão mineralizados posteriormente, em períodos de baixa demanda de nutrientes, tornando-se susceptíveis a perdas (KIRCHMANN; KATTERER; BERGSTRO, 2008). Desse modo, é importante conhecer além da concentração de nutrientes nos resíduos, também a taxa de mineralização dos mesmos para que se possa fazer o planejamento adequado do manejo.

Uma opção para evitar a pressão sobre recursos naturais para a obtenção de N para as culturas é a utilização de culturas leguminosas na rotação de culturas. Pois as bactérias fixadoras de N associadas a essas plantas tornam o N do ar atmosférico disponível para as leguminosas que por sua vez disponibilizarão o N para as culturas subsequentes após a sua senescência (GILLER, 2001). No entanto, o fornecimento de N para as culturas comerciais não leguminosas a partir da fixação biológica, exige a reserva de terras para o cultivo de espécies com finalidade de adubação verde, ocasionando a redução na produção agrícola (KIRCHMANN; KATTERER; BERGSTRO, 2008). Desse modo, a dependência da fixação biológica de N na agricultura orgânica requer uma maior extensão de área cultivada por unidade de produto produzido (TUOMISTO et al., 2012).

A ciclagem de nutrientes dentro dos sistemas agrícolas é outra opção para diminuir a pressão de uso sobre os recursos naturais. No entanto, em sistemas agrícolas

intensivos, grandes aportes de nutrientes são necessários em regiões onde as condições são favoráveis para o crescimento das plantas, a fim de fornecer sustento suficiente para a produção e fazer da segurança alimentar uma realidade (POWLSON et al., 2011). Pois a produção e venda de produtos agrícolas e, assim, fluxo de nutrientes para fora das fazendas é parte essencial da oferta de alimentos (KIRCHMANN; KATTERER; BERGSTRO, 2008).

Dois tipos de ciclos de nutrientes podem ser distinguidos no sistema de produção e consumo de alimentos: O ciclo de nutrientes dentro ou entre propriedades, chamado ciclo agrícola, e o ciclo de nutrientes exportados da fazenda à sociedade e trazidos de volta para a fazenda, o qual constitui o ciclo alimentar (KIRCHMANN; KATTERER; BERGSTRO, 2008). Diferentemente do que ocorre no ciclo agrícola, o retorno dos nutrientes ao solo torna-se mais difícil após serem exportados para a sociedade (KIRCHMAN et al., 2008). Esse retorno dos nutrientes para o sistema de produção agrícola é dificultado devido a problemas de contaminação e à baixa concentração de nutrientes nos resíduos, resultando em elevado custo de transporte (KIRCHMAN et al., 2005). A agricultura tem tradicionalmente usado esterco como fertilizantes para melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, e em menor grau também tem utilizado o biossólidos municipais e resíduos orgânicos industriais para essa finalidade (VANEECKHAUTE et al., 2013). A utilização de resíduos municipais urbanos visando a reposição dos nutrientes exportados do solo é problemática, pois na maioria das vezes esses resíduos apresentarem quantidades consideráveis de metais indesejáveis que representam fontes de contaminação (KIRCHMANN; NYAMANGARA; COHEN, 2005). Como exemplo, podemos citar um estudo sobre a aplicação anual de compostagem de resíduos sólidos municipais e estrume durante cinco anos sucessivos na Tunísia que resultou em melhoria da fertilidade do solo, no entanto levou a um aumento significativo de metais pesados nos primeiros 20 cm da camada do solo tratado (ACHIBA et al., 2009). Desse modo, além da quantificação dos fluxos de nutriente, é necessária identificar o teor de nutrientes e contaminantes nos resíduos produzidos.

2.4 Análise de fluxo de materiais (AFM)

Os primeiros estudos utilizando a AFM até a década de 1970 estavam baseados no metabolismo das cidades e na análise de poluentes em bacias hidrográficas ou áreas urbanas. Nas décadas seguintes a AFM tornou-se mais abrangente, sendo usada de forma mais diversificada como na avaliação do manejo de nutrientes agrícolas, controle de processo de tratamento de resíduos e de águas residuais entre outros (BRUNNER; RECHBERGER,

2004). Mais recentemente foi descrita como uma metodologia utilizada para a quantificação de fluxo de nutrientes em cadeias de produção e consumo de alimentos (PFISTER; BACCINI, 2005). Funcionando como um meio para a análise de fluxos no contexto humano na antroposfera (BACCINI; BRUNNER, 1991), baseada no princípio de equilíbrio de massa onde a entrada de materiais em um processo é igual à saída ou podendo resultar em mudança de estoque dentro do processo (PFISTER; BACCINI, 2005). Em seu livro sobre o metabolismo da antroposfera Baccini e Brunner (2012) definem antroposfera como uma rede global dos sistemas urbanos, incluindo ecossistemas terrestres e aquáticos e o metabolismo de fluxos de matéria e energia. Nesse caso os autores veem os assentamentos agrícolas como núcleos urbanos que se conectam através de fluxos como de matérias, de transporte de pessoas e de informações. Dessa forma, a AFM busca descrever e analisar um sistema real da forma mais simples possível, mas em detalhes suficientes para tomar as decisões quanto a gestão de recursos ou de resíduos (CENCIC; RECHBERGER, 2008).

Os materiais podem servir para representar produtos ou substâncias, com ou sem valor econômico, no entanto, ainda são raros os estudos que utilizam AFM centrados em substâncias individuais. Sendo os produtos formados por um conjunto de substâncias, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), de composição química uniforme (BRUNNER; RECHBERGER, 2004). Como exemplo de estudo que utiliza a AFM para quantificar fluxos de substâncias, podemos citar Neset et al. (2008) que quantificaram os fluxos de P com base no consumo e produção de alimentos numa cidade sueca. Podemos ainda citar o trabalho de Pfister e Baccini (2005) que aplicaram a AFM para quantificar os fluxos de N e utilizaram a análise de fluxos como indicativo de potencialidades e recursos de uma região.

Em países desenvolvidos além dos estudos citados anteriormente com abrangência local e regional, são encontrados estudos bem mais abrangentes com aplicação da AFM a nível nacional, relacionados principalmente a sistemas econômicos (KUNH, 2014). No Brasil, os estudos que utilizam a AFM ainda são insipientes, foi possível identificar apenas três estudos voltados apenas para sistemas econômicos em centros urbanos (TANIMOTO, 2010; MACHADO; FENZL, 2000; RAMOS, 2001; KUNH, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A análise de fluxo de nutrientes foi realizada segundo os passos seguidos por Pfister e Baccini (2005): (i) delimitação das divisas do sistema, processos, produtos e indicadores; (ii) quantificação dos fluxos e estoques de elementos; (iii) cálculo de todos os fluxos do sistema; (iv) representação esquemática dos fluxos e interpretação dos resultados e (v) divisão das propriedades em grupos.

3.1 Localização do experimento

O estudo foi realizado na zona rural do município de Redenção (Fig. 1), cuja sede possui coordenadas geográficas de 4° 13' 33" S e 38° 43' 50" W, localizado na região semiárida ao norte do estado do Ceará a 61km da capital Fortaleza (fig.1).

Figura 1 – Mapa do estado do Ceará, município de Redenção em destaque.



Fonte: IPCE, 2015.

Redenção faz parte da região do Maciço do Baturité onde ocupa área de 225,306km² e altitude de 88,8m. O clima da cidade de Redenção varia de tropical quente úmido á tropical quente sub - úmido e tropical quente semi - brando. A pluviosidade média anual é de 1.062 mm com temperatura média de 26 a 28°C, com período chuvoso estendendo-se de janeiro a abril. O relevo é caracterizado por maciços residuais e depressões sertanejas. Já

os solos são do tipo planossolo solódico e podzólico vermelho-amarelo. A vegetação é do tipo caatinga arbustiva densa e floresta subcaducifolia tropical pluvial (IBGE; IPECE, 2015). A principal forma de agricultura praticada é a agricultura de sequeiro. Tendo destaque para a produção de caju, na qual o objetivo principal é a comercialização, outras culturas como feijão, milho e mandioca além de terem a produção direcionada ao comércio servem também como fonte de subsistência tanto para o consumo humano como animal.

3.2 Seleção dos produtores a serem entrevistados

Realizou-se a caracterização de produtores rurais no município a partir de dados do censo agropecuário (IBGE, 2015 e documentos fornecidos pela empresa de extensão rural local (EMATERCE-Redenção). Buscaram-se dados que mostrassem o perfil dos produtores de acordo com o tamanho da área cultivada, diversidade de atividades agropecuárias ou agrícolas praticadas, culturas mais representativas, criação animal e as relações entre seus componentes. Apenas produtores rurais que cultivam em sequeiro foram selecionados para o estudo, por melhor representar a agricultura predominante na região semiárida do Brasil. As principais culturas observadas foram caju, milho, mandioca e feijão e na produção animal se destacam a criação de aves, suínos, bovino, ovinos e caprinos e asininos. Essas culturas e criações constituem na maioria das vezes a principal fonte de renda e alimento para subsistência do agricultor. A cultura da fava foi incluída no estudo, pois apesar do valor da produção não ser tão significativo é cultivada em consórcio com as culturas a serem estudadas. Deste modo foram selecionados produtores com as seguintes características:

- Possuíssem sistema de produção animal e vegetal na propriedade;
- Realizassem o cultivo de alguma das culturas citadas acima;
- Praticasse predominante a agricultura de sequeiro.

Com base nestes critérios foram selecionados 40 produtores de dez comunidades rurais do município para participarem da entrevista.

3.3 Entrevista aos produtores

Foi feita a aplicação de um questionário com perguntas semiestruturadas a respeito da produção animal, vegetal e a forma de como o solo é trabalhado (APÊNDICE A). O objetivo do questionário foi o levantamento das seguintes informações:

- a. Determinar os fluxos e processos a serem analisados em cada sistema (diversidade da produção agrícola e pecuária e interações com processos externos);
- b. Quantidade de produtos produzidos;
- c. Quantidade de produtos exportados para fora da propriedade;
- d. Destino dos produtos;
- e. Interação com comércio e indústria;
- f. Variedade e quantidade de produtos trazidos de fora para dentro da propriedade, incluindo alimentos para os rebanhos, fertilizante mineral e orgânico, sais minerais, dentre outros.

Dessa forma pudemos obter a massa dos produtos circundantes dentro ou fora do sistema, que juntamente com o levantamento na literatura dos teores de P e K (Tabela 5) desses produtos deram subsídios para o cálculo dos fluxos de nutrientes no sistema.

3.4 Divisão das propriedades em classes

Após a definição dos componentes do sistema, seus fluxos e processos com base nos dados obtidos pelo questionário, realizamos três procedimentos até chegar a divisão dos agricultores em duas classes. Inicialmente os agricultores foram classificados quanto a diversidade entre as espécies animais e vegetais. Foram atribuídos conceitos alta, média ou baixa diversidade de acordo com o número de espécies animais e vegetais.

Para as espécies animais:

Alta= 2 espécies animais

Média= 3 a 4 espécies animais

Baixa= 5 a 6 espécies animais

Para as espécies vegetais:

Alta= até 2 espécies vegetais

Média= 3 espécies vegetais

Baixa= 4 espécies vegetais

Em seguida foi feita a classificação com base no grau de interação entre as espécies vegetais e animais, sendo estas representadas pelos processos de produção animal e vegetal e seus respectivos fluxos. Para constituir uma interação o fluxo do produto de produção deveria acontecer entre os processos dentro do sistema. Para isso foram atribuídos os conceitos de alta, média ou baixa interação de acordo com o número de suas ocorrências:

Alta= maior que 3 interações.

Média= 2 a 3 interações

Baixa= 1 interação

Finalmente, os conceitos quanto interação e diversidade foram confrontados, sendo que os agricultores foram classificados nas classes “A” e “B” seguindo o seguinte critério (Tabela 1):

Classe A – Interação e diversidade = Baixa ou média;

Interação e diversidade = baixa;

Interação e diversidade = média.

Classe B – Interação e diversidade = Média ou alta

Interação e diversidade = alta

Tabela 1 – Processo final de divisão dos produtores nas classes A e B.

Produtor	Interação	Diversidade	Classificação final ¹
1	baixa	média	A
2	média	baixa	A
3	alta	alta	B
4	média	baixa	A
5	média	alta	B
6	baixa	baixa	A
7	média	baixa	A
8	baixa	baixa	A
9	baixa	baixa	A
11	alta	média	B
13	baixa	baixa	A
14	baixa	média	A
15	média	baixa	A
16	média	média	A
17	baixa	baixa	A
18	média	média	A
19	baixa	baixa	A
20	média	alta	B
21	média	média	A
22	média	alta	B
23	baixa	média	A
24	baixa	baixa	A
25	alta	alta	B
26	média	média	A
27	média	média	A
28	média	média	A
29	baixa	baixa	A
30	média	média	A
31	baixa	média	A
32	alta	alta	B
38	média	baixa	A
39	média	baixa	A
40	alta	baixa	A

Classificação do produtor a partir da classificação quanto a diversidade e interação entre atividades, respectivamente: Baixa+Média, Média+Baixa, Média+Média e Baixa + Baixa pertence à classe A; Alta+Média, Alta+Alta ou Média+Alta, pertence à classe B.

3.5 Mapeamento do fluxo de materiais e nutrientes

A fronteira temporal, ou seja, o espaço de tempo considerado para a análise foi o anual. A fronteira espacial do sistema foi definida como a propriedade rural sendo que as áreas de produção de diferentes produtos agrícolas e pecuários dentro da propriedade (caju, milho, feijão, mandioca, gado bovino, frango, etc.) foram consideradas como processos. Os fluxos de materiais podem ser originados e destinados de ou para processos internos ou externos ao sistema delimitado.

O processamento dos dados com base na AFM foi realizado utilizando o programa computacional STAN (sigla em língua inglesa para "análise de fluxo de substâncias" (subSTance flow ANalysis)) o qual foi lançado em 2006 e atualizado em 2009. Os dados de entrada do programa foram os dados médios e desvios padrões originados da quantificação dos insumos necessários e produtos da produção animal e vegetal para cada classe. As médias e desvios padrões foram calculados para cada fluxo de substância, dentro de cada classe de produtores em planilha do Microsoft Excel® utilizando as funções média (media) e desvio padrão amostral (desvpada) em quilogramas por ano. O teor de nutrientes médios e desvios padrões de cada material expressos em grama por quilograma foram obtidos através de levantamento de literatura (Tabela 2). Este programa computacional tem a capacidade de realizar os cálculos de fluxos de nutrientes e propagação dos erros das medidas iniciais, apresentando os resultados graficamente. Os dados referentes aos fluxos de materiais e nutrientes são dispostos em camadas nos gráficos. Desta forma, obtiveram-se três camadas: (i) materiais, (ii) fósforo e (iii) potássio. Os estoques não devem ser considerados na primeira camada tendo em vista que o software não faz discriminação entre o tipo de substância que transcorre no sistema. Deste modo, os estoques são apresentados apenas nas camadas específicas referentes a fósforo e potássio. É importante ressaltar que o programa computacional opera baseado no princípio de equilíbrio de massa onde a entrada é igual à saída ou pode resultar também em uma mudança de estoque para todas as camadas. Deste modo, foi necessário acrescentar fluxos não contabilizados de entrada de água e carbono para a produção vegetal e fluxos não contabilizados de saída de carbono respirado na produção animal para que o programa não indicasse inconsistência de dados na camada "materiais".

Tabela 2 - Teor de nutrientes presente nos produtos quantificados no estudo.

Produtos	Teor de nutriente g/kg		Fonte
	P	K	
Caju	0,1	1,24	Fragoso et al., 1999.
Castanha do caju	1,37	6,7	Fragoso et al., 1999.
Mandioca	0,51	10,05	Mezzete et al., 2009.
Maniva	2,1	13,8	Ravindran e Ravindran, 1988.
Grão de feijão	5,1	14,3	Frota, Soares e Arêas, 2008..
Grão de milho	3,1		Bünzen et al., 2008.
Grão de milho		3,5	Zardo e Lima, 1999.
Palha de milho	1,7	21,7	Calonego et al., 2012.
Carne suína	1,55	2,53	Duarte e Areco, 2015.
Fava	2,97		Azevedo; Franco e Araújo, 2003.
Fava		18,74	Ologhobo e Fetuga, .1983.
Carne bovina	0,61		Duarte e Areco, 2015.
Carne bovina		0,96	Duarte e Areco, 2015.
Carne de frango	1,65	1,96	Duarte e Areco, 2015.
Farelo de trigo	10,23		Rostagno, 2011.
Farelo de trigo		13,4	Filho, Armelin e Silva, 1999.
Leite	0,93	1,51	Duarte e Areco, 2015.
Torta de algodão	11,7		Araújo et al., 2015.
Torta de algodão		7,4	Severino et al., 2006
Ração porco	3,3		Pinheiro et al., 2013.
Ração porco		4,45	Rostagno et al., 2005.
Esterco bovino	8,7	3,3	Lima et al., 2006; Severino et al., 2006.
Esterco de frango	39,7	11	Lima et al., 2006; Severino et al., 2006.

3.6 Amostragem de solo para análise da densidade e dos teores do fósforo (P) e do potássio (K)

Foram realizadas amostragens de solo em duas localidades dentre as que foram realizadas as entrevistas. Foram selecionadas apenas áreas cultivadas com caju de produtores pertencentes à classe A. Todas as áreas encontravam-se dentro de um raio de 2 km em condições semelhantes de solo, relevo e altitude. Foram tomadas amostras de solo sob caatinga natural remanescente, próximas às áreas de cultivo e áreas de cultivos de caju implantados a 6, 7, 8 e 13 anos. Foram amostradas 7 áreas de vegetação natural e 2 áreas de cada idade de cultivo. Deste modo foi possível verificar a variação dos estoques de nutrientes do solo, dentro de um mesmo manejo. A existência da cronossequência de áreas agrícolas próximas e em condições comparáveis de manejo, relevo e solo, foram determinantes na seleção da classe de produtores e a cultura avaliada. Foram buscadas outras combinações de culturas e classes de produtores para realização de análise comparativa, no entanto, não foram localizadas.

Foram coletadas amostras de solo da camada de 0-0,20 m de profundidade para a determinação da densidade do solo e dos teores de P e K. A densidade do solo foi obtida em amostras coletadas com anel volumétrico, em um total de 3 subamostras por parcela avaliada. Para a determinação de P e K foram coletadas 15 subamostras com trado holandês para compor uma amostra. Foram obtidos extratos com extrator Melich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$) onde o P foi quantificado por espectrofotometria e o K fotometria de chama, conforme Embrapa, 1997.

A partir dos dados de concentração de nutrientes e densidade do solo calcularam-se os estoques de nutrientes do solo. A verificação do ajuste de modelos de regressão linear e quadrático do estoque de nutrientes em função do tempo em cultivo foi realizada por meio do procedimento "proc reg" do programa computacional SAS.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização e classificação dos sistemas produtivos locais

Apesar da seleção inicial de produtores considerar apenas produtores com produção vegetal e animal, após o segundo procedimento de classificação com dados coletados em entrevistas foram identificados seis produtores que possuíam apenas produção animal ou vegetal isolados. Sendo deste modo descartados do estudo por não satisfazerem os critérios de seleção.

Foram identificados o total de 14 processos dentro dos sistemas de produção. Oito processos pertencentes ao sistema de produção vegetal: cultivos solteiros de mandioca, caju, milho, feijão, e cultivo consorciado de caju + feijão, de milho + fava, de milho + caju + feijão e milho + feijão. Cinco processos pertencentes ao sistema de produção animal: aves, caprinos e ovinos, suínos, bovinos e asininos. Um processo não relacionado à produção, identificado como residência do produtor. No entanto, nem todos os processos foram contabilizados no fluxo de substâncias por falta de representatividade dentro da amostra de alguns desses processos. Não foram contabilizados os consórcios de milho + caju + feijão e milho + feijão que existiam em pequeno número tanto para a classe A quanto para a classe B. Desse modo, as propriedades pertencentes à classe B foram representadas apenas pelos processos de produção animal e pelos cultivos solteiros além da residência do produtor.

É importante observar que única diferença entre classes quanto aos processos de produção vegetal é o cultivo consorciado de algumas culturas, observado apenas na classe A. A baixa diferenciação quando se observa os dados conjuntos de produtores de cada classe ocorreu devido à classificação ser realizada com base no número de processos e integração entre processos e não com base na distinção entre processos dentro de uma mesma propriedade. Como exemplo podemos citar os produtores 4 e 7, o primeiro produz caju, milho e feijão e segundo produz mandioca, milho e feijão, ambos com baixa diversidade de cultivos serão classificados como pertencentes à classe A. Cada um deles cultivava uma cultura não cultivada pelo outro, resultando em um grande número de processos (culturas) quando se analisa o conjunto de produtores pertencentes à mesma classe. Outra semelhança entre as classes é que todos os produtores, com apenas duas exceções (produtores 8 e 13), cultivam milho e feijão.

É possível encontrar cultivos de caju solteiro e consorciado em ambas as classes, sendo que na classe A, a produtividade de castanha e fruto do caju é semelhante para o cultivo

solteiro e consorciado, diferentemente do que ocorre na classe B, onde o cultivo solteiro produz menos que o consorciado. O cultivo de mandioca na classe A apresenta maior produtividade em relação a classe B. A mandioca é cultivada apenas em cultivo solteiro, constituindo o processo de maior produtividade nos sistemas de produção analisados. A produção de caju é o processo de produção que ocupa maior área de cultivo para as duas classes. Em ambas as classes o cultivo solteiro foi o de maior produção quanto a produção total. Dos vinte e três agricultores pertencentes à classe A, treze praticam o cultivo consorciado sendo que destes nove consorciam caju e feijão, três consorciam milho e fava e apenas um faz consorcio de caju, milho e feijão. Do total de oito agricultores na classe B três fazem consorcio, onde cultivam caju, milho e feijão, ou caju e feijão, ou ainda milho e feijão. Com relação a todos os processos vegetais, as propriedades pertencentes à classe A, apresentaram produtividade média maior em relação às propriedades da classe B.

Apesar de haverem apenas 5 processos de criação animal, o número de espécies animais encontradas nas propriedades é maior, pois frango, ganso e pato foram agrupadas no processo de produção de aves. Sendo a criação de frango escolhida para representar o processo devido à quantidade produzida e ao maior número de agricultores que a produziam. A criação de cavalos e burros também foi agrupada no processo de produção de animal, novamente, optamos por considerar a criação de burros para representar o processo devido sua representatividade. Conforme podemos observar na tabela 3 a classe B se destaca na produção animal em geral. Esta é uma das principais razões para a diferenciação entre classes, pois um maior número de atividades pecuárias proporciona um maior número de interações entre processos dentro do sistema. Na classe B fluxos de entrada e saída para o processo gado são insignificantes. Sendo que o processo de criação se dá a pasto e o único fluxo de saída de produto é o leite.

Tabela 3 – Número médio de animais por espécie em cada classe.

	Porco	Gado	Frango	Caprino e ovino	Burro
Classe A	4,1	9,5	29	2	1,4
Classe B	32,6	14	62	24,5	1,7

Tabela 4 - Produção e produtividade média para o cultivo solteiro e consórcio dos processos de produção vegetal da classe A.

Prod.	Área Total	Caju (s) ¹			Caju (c) ²			Mandioca (s)		Milho (s)		Milho (c)		Feijão (s)		Feijão (c)		Fava (c)	
		Área	Frut.	Cast.	Área	Frut.	Cast.	Área	prod.	Área	prod.	Área	prod.	Área	prod.	Área	prod.	Área	prod.
		ha	Mg		ha	Mg		ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg
2	21,5	0	0	0	7	18	2	0	0	0	0	1	1	0	0	4	3	0	0
4	21,5	0	0	0	7	20	3	0	0	1	1,5	0	0	0	0	2	1,8	0	0
6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,5	0,3	0,1	0	0	0,02	0,1
7	2,5	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0,02	0,2	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0
8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
9	3,5	0	0	0	0	0	0	0,06	1	0	0	0,8	0,4	0	0	0,8	0,1	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
14	21,5	0	0	0	7	18	2	1,5	10	2	0,7	0	0	0	0	3	1,5	0	0
15	22,4	0	0	0	4	16	0,5	0	0	1	0,6	0	0	0	0	1	0,1	0	0
16	22,4	0	0	0	3	4	1,5	0	0	1	0,9	0	0	0	0	1	0,2	0	0
17	22,4	0	0	0	6	12	2,5	0	0	1	0,4	0	0	0	0	1	0,2	0	0
18	22,4	0	0	0	6	20	1,5	0	0	3	6	0	0	0	0	1	0,3	0	0
19	22,4	0	0	0	8	8	1,5	0	0	3	4,5	0	0	0	0	3	0,3	0	0
21	22,4	6	14	0	0	0	0	2	30	2	0,6	0	0	2	0,3	0	0	0	0
23	22,4	0	0	0	6	12	0,6	2	35	2	2,2	0	0	0	0	1	0,2	0	0
26	12	9	30	1	0	0	0	3	60	1	1,5	0	0	6	0,5	0	0	0	0
27	15	2	10	0	0	0	0	2	10	1	0,6	0	0	2	0,4	0	0	0	0
28	6	0	0	0	0	0	0	2	30	2	1,2	0	0	2	0,4	0	0	0	0
29	13	5	2	11	0	0	0	0	0	6	0,6	0	0	2	0,2	0	0	0	0
30	90	40	16	0	0	0	0	6	12	1	0,6	0	0	6	0,2	0	0	0	0
38	60	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,96	0	0	1	0,02	0	0	0	0
39	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,72	0,5	0,06	0	0	0,5	0,2
40	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1,8	0,5	0,08	0	0	1	0,2

Continua

Conclusão

Prod.	Área	Caju (s) ¹			Caju (c) ²			Mandioca (s)		Milho (s)		Milho (c)		Feijão (s)		Feijão (c)		Fava (c)	
		Total	Área	Frut.	Cast.	Área	Frut.	Cast.	Área	prod.	Área	prod.	Área	prod.	Área	prod.	Área	prod.	Área
	ha		Mg		ha	Mg		ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg
Média	19,1	12,4	14,4	6	6	14,22	1,68	2,08	20,9	1,59	1,32	0,66	0,89	2,04	0,21	1,78	0,77	0,51	0,2
Prdv ³			1978	1156		2452	288,8		10898,1		1881,3		5948		207,7		337,5		1260

¹ - Produção da cultura em cultivo solteiro; ² - produção da cultura em consórcio; ³ produtividade em kg ha.⁻¹

Tabela 5 - produção e produtividade média para o cultivo solteiro e consorcio dos processos de produção vegetal da classe B.

	Área	Caju (s) ¹			Caju (c) ²			Mandioca (s)		Milho (s)		Milho (c)		Feijão (c)		Feijão (c)	
		Total	Área	Frut.	Cast.	Área	Frut.	Cast.	Área	Prod.	Área	Prod.	Área	Prod.	Área	Prod.	Área
	ha		Mg		ha	Mg		ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg	ha	Mg
3	21,5	0	0	0	6	10	0,2	2	2	1	0,6	0	0	0	0	10	10
5	21,5	0	0	0	7	20	3	0	0	0	0	7	2,1	0	0	3	1,5
11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	1,6	0	0	0,1	0,1	0	0
20	22,4	8	8	0,6	0	0	0	3	30	2	2,9	0	0	3	0,3	0	0
22	11	6	10	1	0	0	0	0	0	2	1,2	0	0	2	0,3	0	0
25	22,4	6	7	0,6	0	0	0	2	15	3	0,04	0	0	3	0,8	0	0
31	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	2	12,4	2	0,8	0	0	0	0	0	0	0	15	1,8	0	0	3,2	0,1
Média	15,1	8,1	6,8	0,8	6,5	15	1,6	2,33	16,8	1,8	1,3	11	1,95	2	0,37	5,4	3,9
Prdv ³			998,7	101,5		2261,9	231		6166,7		932,7		210		379,2		510,4

¹ - Produção da cultura em cultivo solteiro; ² - produção da cultura em consórcio; ³ produtividade em kg ha.⁻¹

4.2 Fluxos de materiais

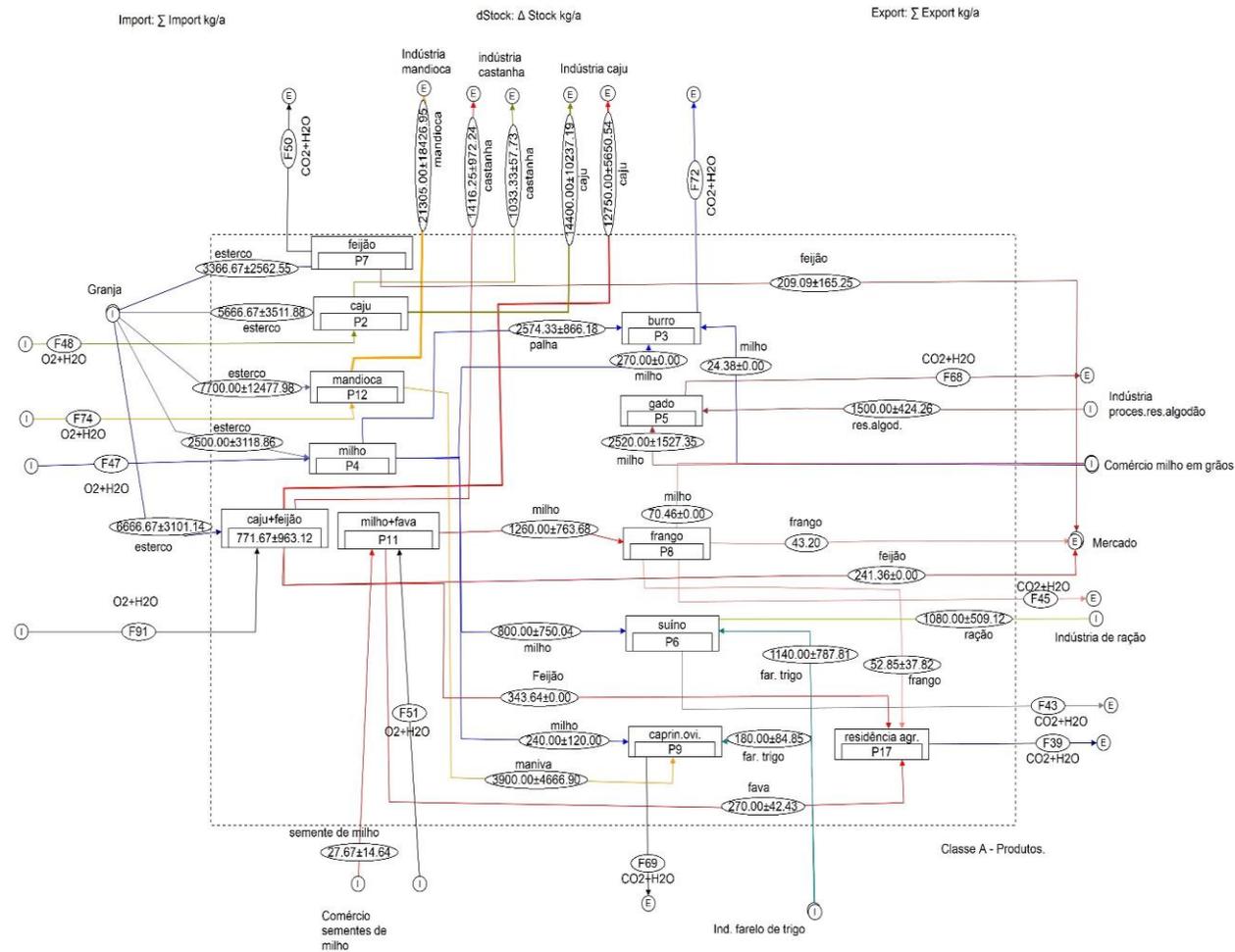
Os fluxos de materiais podem ocorrer entre processos internos, partirem de fora do sistema, sendo depositados em processos internos, ou partirem de processos internos e serem direcionados para fora do sistema. Os processos internos representam a produção de produtos agrícolas ou pecuários que são de grande valor por constituírem fonte de renda ou de alimentação para os agricultores e animais. Os processos externos ao sistema podem servir para fornecer produtos para os processos dentro do sistema, como, por exemplo, o comércio de ração que fornece ração como alimento para o processo de criação animal suíno na classe A e B (Fig. 2 e 3). Os fluxos podem ser constituídos por produtos alimentícios como farelo de trigo, produtos agrícolas como feijão e insumos orgânicos como esterco. Os produtos dos processos animais ou vegetais ao saírem do sistema através de fluxos podem ser comercializados diretamente com o consumidor final sem processamento, como o feijão, ou precisam ser processados antes de ir para o consumidor final, como o caju.

Os fluxos de produto que entram nos processos de produção vegetal de fora do sistema são representados principalmente pelo esterco e sementes e os que saem são constituídos pelo produto produzido no processo de produção vegetal (milho, feijão, caju, castanha e mandioca). O principal meio para a reposição de nutrientes do solo nos processos de produção vegetal é a aplicação de esterco de frango, importado de processos externos à propriedade. A aplicação de esterco é utilizada em todos os cultivos solteiros e no consórcio caju+feijão nas propriedades pertencentes à classe A (Fig.2) e nas culturas de caju, feijão e mandioca da classe B (Fig.3). O esterco constitui o maior fluxo de entrada de insumos nos processos de produção, com valores da ordem de megagramas para todos os processos. A quantidade de esterco aplicado é específico para cada cultura, não estando relacionado apenas ao tamanho da área cultivada, pois o maior fluxo para a Classe A é observado na cultura da mandioca, apesar da mandioca possuir a segundo maior tamanho de área.

Os fluxos de produtos alimentícios que entram nos processos de produção animal podem vir de dentro ou de fora do sistema. Quando originados de dentro do sistema são constituídos por produtos ou subprodutos dos processos de produção vegetal, quando provenientes de fora do sistema podem ser constituídos por produtos ou subprodutos da agroindústria que não existem na propriedade como resíduos de algodão, ração, farelo de trigo ou por produto como milho que embora seja produzido na propriedade não é suficiente para atender a demanda interna dos animais. O maior fluxo de importação para alimentação animal é o de milho para a produção de gado bovino na classe A e para o de produção de frango na

classe B. Os processos de produção animal podem originar fluxos de produtos que podem ir para processos internos ao sistema como a residência do agricultor ou serem comercializados fora do sistema (Fig. 2 e 3). O fluxo de carne de frango e leite do processo gado que seguem para a residência do agricultor nas propriedades pertencentes à classe B são exemplos de fluxos que ocorrem internamente ao sistema. O fluxo de saída de carne é o predominante no processo de produção animal para as duas classes. Para o fluxo de entrada os de produtos alimentícios industrializados (ração, farelo de trigo e resíduo de algodão) predominam na criação animal para a classe A, onde todos os processos de produção animal recebem pelo menos um desses fluxos. Para os fluxos alimentícios originados dos processos de produção vegetal apenas o processo de produção gado não recebe nenhum fluxo desses processos. Já processo gado da classe B não recebe nenhum fluxo de importação de produtos, sendo a manutenção do rebanho realizada a pasto, sem aporte de insumos. O milho e a palha de milho produzido internamente são frequentemente fornecidos aos rebanhos da classe A, diferentemente dos rebanhos da classe B que são muito mais dependentes do fornecimento de milho de produtores de fora do sistema.

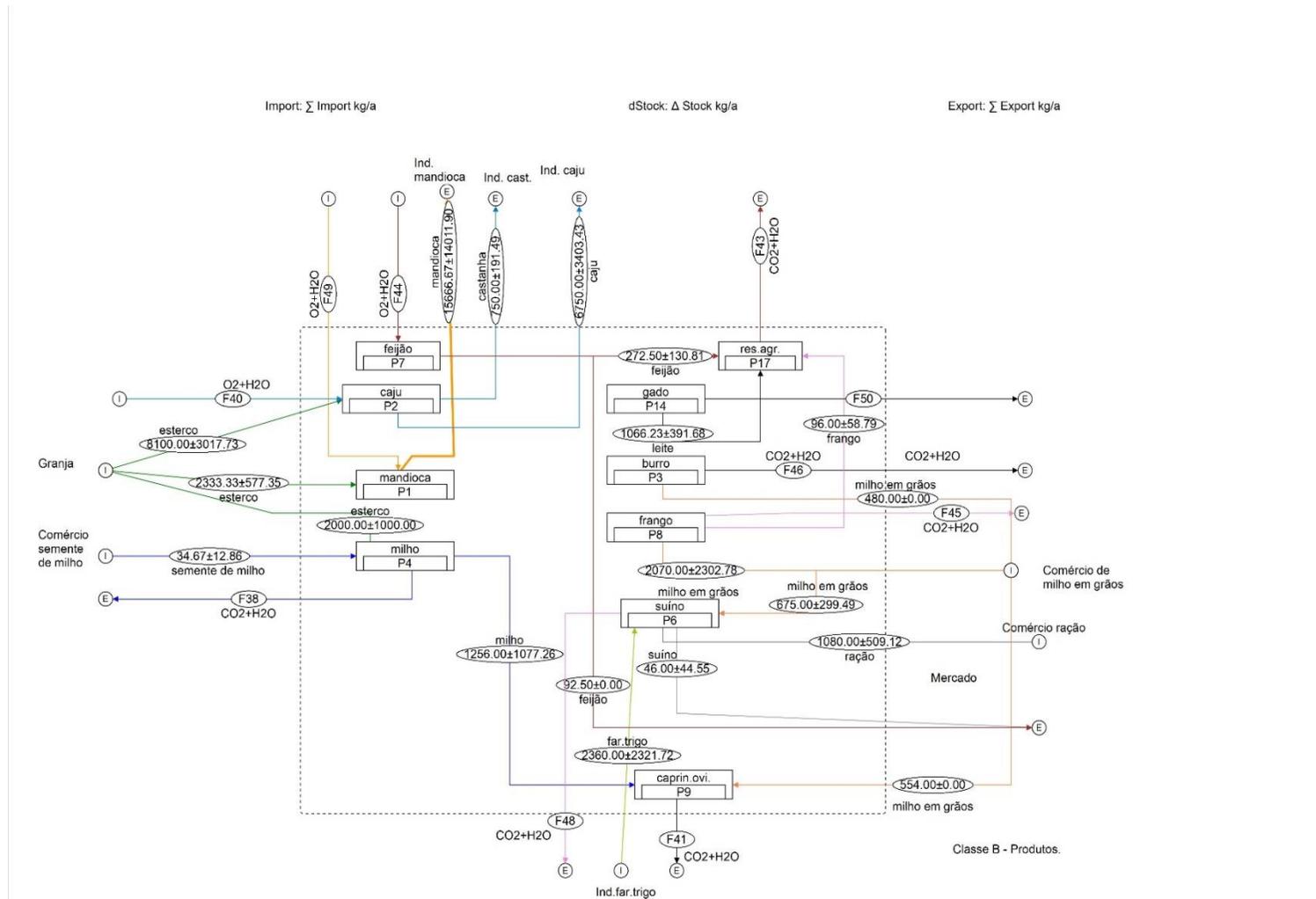
Figura 2 - Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe A.



Fonte: Camelo (2015)

Dentro do sistema os fluxos de cada material são representados por diferentes cores. A linha tracejada representa a fronteira do sistema. As setas, os balões contendo a letra E ou I representam fluxos de exportação e importação, respectivamente.

Figura 3 – Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe B.



Fonte: Camelo (2015).

Dentro do sistema os fluxos de cada processo são representados por cores. A linha tracejada representa a fronteira do sistema. As setas, os balões contendo a letra E ou I representam fluxos que ainda podem ser de exportação e importação.

4.3 Fluxos de nutrientes – Fósforo

A maior importação de P para a classe A foi para o processo de produção de mandioca com importação de 305,69 kg ano⁻¹ de P (Tabela 6). Para a classe B o processo de produção de caju foi o que mais recebeu P de fora do sistema 321,57 kg ano⁻¹ (Tabela 7), sendo que estes processos foram também os de maior produção para ambas as classes. Todo o P aportado nesses dois processos proveio de importações, não havendo aporte de P por fluxos internos ao sistema (Figura 4 e 5). Os fluxos de P que partem desses mesmos dois processos, mandioca da classe A e caju da classe B, foram de 19,06 e 1,71 kg ano⁻¹, constituindo apenas 6,2 e 0,5% do total de P aportado nessas culturas, respectivamente. Esse baixo percentual de saída de P do sistema em relação à entrada se repete em todos os demais processos de produção vegetal que recebem adubação, sendo que em média, menos de 4% do total de P que entra no sistema deixa o mesmo. Este desbalanço e conseqüentemente acúmulo de P dentro dos processos de produção vegetal revela ineficiência na utilização de P, podendo o P acumulado ocasionar problemas ambientais, ser fixado pelos colóides do solo ou imobilizados pela biomassa vegetal, podendo ou não ser disponibilizado para futuros cultivos.

Os fluxos de entrada de P nos processos de produção animal foram menores em relação aos processos de produção vegetal, sendo os processos com maiores fluxos de entrada para as classes A e B os processos gado e suíno com fluxos de 25,4 e 29,8 kg ano⁻¹ de P, respectivamente. É importante observar que 100% dos fluxos de entrada de P para esses dois processos proveem de fontes externas ao sistema. Os processos de produção de burro, frango e caprino/ovino da classe A e caprino/ovino da classe B são menos dependentes das importações de P, os quais são mais dependentes da produção de milho e maniva de mandioca, internas ao sistema. No entanto, como os fluxos de entrada de P nesses demais processos são pequenos, os fluxos internos de P representam menos de 3% do total de P que entra nos processos de produção animal.

A maior exportação foi observada no processo mandioca, sendo que na classe A foi de 10,87 kg ano⁻¹ e na classe B de 7,99 kg ano⁻¹ de P que tiveram como destino comum a indústria, novamente, representando menos de 10% das importações, indicando acúmulo de P não só nos processos, mas também no sistema. O processo de produção de mandioca na classe A foi também responsável pelo maior fluxo interno de P, sendo que 8,19 kg ano⁻¹ P foram fornecidos ao processo de produção caprino/ovino na forma de maniva. Na classe B o maior

fluxo interno de P de 3,89 kg ano⁻¹ que partiu do processo milho para o processo de produção caprino/ovino.

A soma da entrada de P em todos os processos do sistema é de 1094 e 540kg ano⁻¹ para as classes A e B, respectivamente. Desses totais, respectivamente, apenas 23 e 6,43kg ano⁻¹ de P proveem de fluxos internos. A soma dos fluxos de P que partem de todos os processos foi de 40 e 17 kg ano⁻¹ para as classes A e B respectivamente, dos quais 50 e 38% são redistribuídos em outros processos dentro do sistema. Deste modo, apesar do desbalanço entre entrada e saída de P dos processos, existe um bom reaproveitamento de P dentro do sistema, principalmente em relação ao aproveitamento de produtos vegetais na produção animal. No entanto, não foi observada ciclagem de nutrientes em nenhuma classe de produtores. Pois o caminho inverso, isto é o aproveitamento de resíduos animais gerados na propriedade não são aproveitados nos processos de produção vegetal, situação é ainda pior que a relatada anteriormente por Chowdhury et al. (2014), em revisão de diversos estudos aplicados a diferentes escalas geográficas, verificou que em média em escala nacional apenas 20% do P é reciclado.

Assim como nos processos de produção vegetal, ocorre acúmulo de P nos processos de produção animal, esse acúmulo está relacionando a falta de aproveitamento de esterco animal em processos de produção vegetal. Considerando que 70% do P ingerido pelos animais (BRAVO et al., 2003) são eliminados nas fezes dos animais, podemos prever que existe a disponibilidade de em média 43,60kg de P para a classe A e 30,31kg de P para a classe B gerados anualmente nos processos de produção animal. O aproveitamento desses resíduos resultaria em maior ciclagem de nutrientes dentro do sistema com maior equilíbrio entre entradas e saídas de fluxos colaborando para diminuir acúmulos de nutrientes em processos específicos além de contribuir para a diminuição de importação do nutriente. Se observarmos na figura 4, podemos perceber que apenas um dos processos de produção animal da classe A não recebeu fluxo de entrada alimentar do processo de produção vegetal. Esses fluxos poderiam estar retornando para estes processos de produção vegetal como fertilizantes, fechando o ciclo dos nutrientes.

Embora ocorra maior entrada que saída de P para a maioria dos processos, existem processos com déficit do nutriente. Na produção de milho+fava na classe A e feijão na classe B não foi verificado nenhum tipo de fertilização, ocasionando dessa forma consumo de nutrientes do solo. O consumo de P do processo também foi verificado na criação de gado, na classe B. Isso ocorreu devido ao sistema de criação a pasto, como não é realizada a fertilização dessas áreas, não existiram fluxos de entrada de P, permanecendo apenas o fluxo

de saída, constituído pelo produto leite. Quanto às importações de P para dentro do sistema o processo de produção caprino/ovino se destacou nas duas classes com maiores importações, sem que existissem exportações, por ter sido iniciado recentemente nessas comunidades. Logo estando em fase de criação inicial ainda não ocorre saída de animais para o abate ou comercialização.

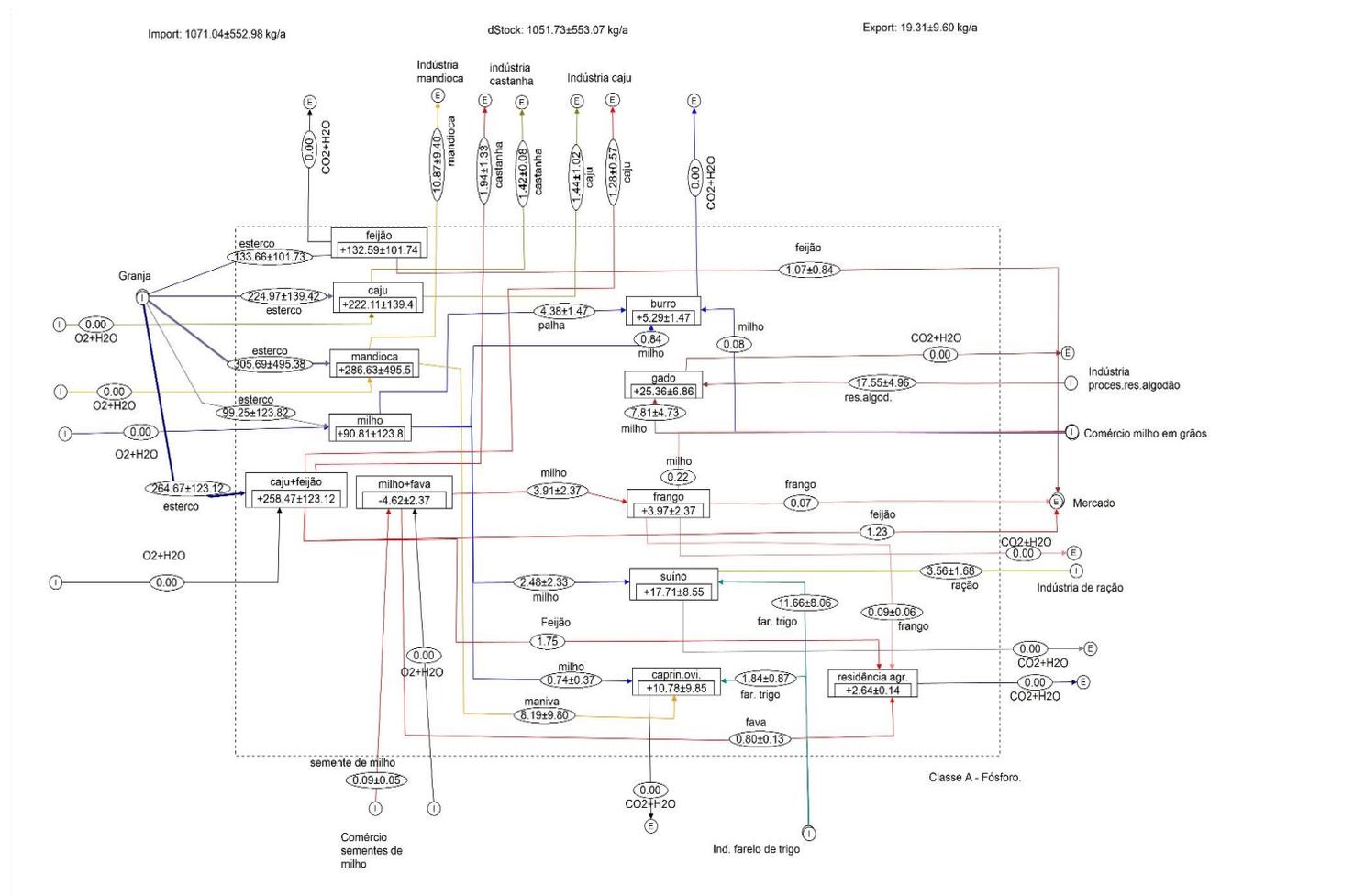
Tabela 6 - Fluxos de P entre o sistema e os processos e entre processos dentro do sistema, classe A.

CLASSE A Processos	Importação total de P (kg ano ⁻¹)		Exportação total de P (kg ano ⁻¹)	
	Dos processos de fora para os de dentro do sistema	Entre os processos de dentro do sistema	Dos processos de dentro para os de fora do sistema	Entre os processos de dentro do sistema
Feijão	133,66	0	1,07	0
Caju	224,97	0	2,86	0
Mandioca	305,69	0	10,87	8,19
Milho	99,25	0	0	5,96
Caju + feijão	264,67	0	3,93	1,75
Milho + fava	0,09	0	0	4,71
Res. agricultor	0	2,64	0	0
Burro	0,08	5,42	0	0
Gado	25,36	0	0	0
Frango	0,22	3,91	0,07	0,09
Suíno	15,22	2,48	0	0
Caprino ovino	1,84	8,93	0	0
Total	1071,05	23,38	18,8	20,7
Médias	97,37	4,68	3,76	4,14

Tabela 07 - Fluxos de P entre o sistema e os processos e entre processos dentro do sistema, classe B.

CLASSE B Processos	Importação total de P (kg ano ⁻¹)		Exportação total de P (kg ano ⁻¹)	
	Dos processos de fora para os de dentro do sistema	Entre os processos de dentro do sistema	Dos processos de dentro para os de fora do sistema	Entre os processos de dentro do sistema
Feijão	0	0	0,47	1,39
Caju	321,57	0	1,71	0
Mandioca	92,63	0	7,99	0
Milho	79,51	0	0	3,89
Res. agricultor	0	2,54	0	0
Burro	1,49	0	0	0
Gado	0	0	0	0,99
Frango	6,42	0	0	0,16
Suíno	29,8	0	0,07	0
Caprino ovino	1,72	3,89	0	0
Total	533,14	6,43	10,24	6,43
Médias	76,16	3,22	2,56	1,61

Figura 4 - Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe A.



Fonte: Camelo (2015).

Dentro do sistema os fluxos de cada processo são representados por cores. A linha tracejada representa a fronteira do sistema. As setas, os balões contendo a letra E ou I representam fluxos que ainda podem ser de exportação e importação.

4.4. Fluxos de nutrientes – Potássio

A soma de todos os fluxos de entrada de K na classe A foi superior à da classe B, 445 e 191 kg ano⁻¹, respectivamente (tab. 8 e 9). Sendo que na classe A, 26% (117 kg ano⁻¹) desses fluxos proveem de fluxos internos ao sistema, constituídos principalmente pelos fluxos de maniva de mandioca para os caprinos/ovinos (56,81 kg ano⁻¹) e palha de milho para o burro (54,66 kg ano⁻¹) (Figura 6). Na classe B os fluxos de entrada de K para os processos foram quase que exclusivamente constituídos por importações (98%), sendo essas importações constituídas principalmente pela aplicação de esterco nos processos de produção vegetal e pelo uso de farelo de trigo na alimentação de suínos (figura 7). As maiores importações de K para as duas classes não se deram pelos mesmos processos, para classe A os processos com maior destaque foram as produções de mandioca e caju+feijão com importação de 84,7 e 73,33kg ano⁻¹ de K, respectivamente. Para a classe B o processo de produção de caju e a produção de suíno com importação de 89,1 e 38,79kg ano⁻¹ de K, respectivamente foram os mais representativos. É importante destacar, que apesar de haver uma proporção significativa de fluxos internos de K entrando nos processos de produção animal, não existe nenhum fluxo de K proveniente da produção animal depositados nos processos de produção vegetal. Deste modo, a ciclagem de nutrientes não se completa entre processos dentro do sistema.

A soma de todos os fluxos provenientes de processos internos das propriedades pertencentes à classe A foi de 374 kg ano⁻¹, dos quais 250 kg ano⁻¹ são exportados para fora do sistema. Essa exportação ocorreu principalmente pela comercialização da mandioca, responsável por um fluxo de exportação de 214 kg ano⁻¹, sendo este, portanto, o mais importante sumidouro de K dos sistemas avaliados. Os fluxos internos que foram gerados correspondem ao fornecimento de maniva de mandioca para ovinos/caprinos (54 kg ano⁻¹) e palha de milho para o burro (56 kg ano⁻¹). Para a classe B, a soma de todos os fluxos provenientes de processos internos foi de 181 kg ano⁻¹, dos quais 171 kg ano⁻¹ foram exportados do sistema principalmente pelos fluxos de comercialização de mandioca. Fluxos de apenas 10 kg ano⁻¹ ocorreram entre processos internos, referentes principalmente ao fornecimento de produtos para a residência do agricultor.

É importante ressaltar que os fluxos de K que partem do processo milho correspondem ao fluxo de diferentes produtos para a classe A e B, o fluxo de K da classe A é constituído pelo subproduto palha enquanto o fluxo de K da classe B é constituído pelo produto grão de milho. A maior importância da palha para os fluxos de K dentro do sistema é

devida principalmente ao elevado teor de K na palha (tab. 2). Esse fato chama atenção para a importância do aproveitamento dos resíduos na propriedade, que geram fluxos de retirada de K da área agrícola, que se não forem apropriadamente repostos pode causar exaustão das áreas agrícolas.

Embora o balanço entre entrada e saída de K do sistema tenha sido positivo: 78 e 16 kg ano⁻¹ para as classes A e B, respectivamente, o K não é bem distribuído entre os processos dentro do sistema. Os fluxos de saída de K foram maiores que os fluxos de entrada nas áreas de produção agrícola: 374 versus 285 kg ano⁻¹ para a classe A e 178 versus 137 kg ano⁻¹ para a Classe B. Esse consumo dos estoques de K do solo ocorreu nos processos mandioca, milho e milho+fava da classe A e nos processos feijão e mandioca da classe B. O processo de produção de mandioca é o mais preocupante quanto ao consumo dos estoques do solo pois a exportação do nutriente ocorre em grandes quantidades e não é suficientemente repostos pela fertilização.

Na classe A, 1/3 dos fluxos de K gerados nos processos de produção vegetal são utilizados no processo de produção animal onde o nutriente é acumulado. Esse acúmulo está relacionando a falta de aproveitamento de esterco animal. O aproveitamento desses resíduos resultaria em maior ciclagem de K dentro do sistema com maior equilíbrio entre entradas e saídas, contribuindo para diminuir acúmulos de nutrientes em processos específicos além de contribuir para a diminuição de importação de K.

Embora tenham ocorrido fluxos significativos de K entre processos de produção vegetal para processos de produção animal internos ao sistema na classe A, estes foram praticamente ausentes em na classe B. A maior suprimimento de K para esse sistema se deu através do esterco originado de granjas externas ao sistema. As quantidades de esterco importado poderiam ser reduzidas caso os agricultores utilizassem o esterco gerado pela sua própria produção animal. Em trabalho sobre estratégias de gestão dos agricultores para manter a fertilidade do solo em uma área remota no noroeste da Nigéria, Hoffmann et al. (2001), a partir de entrevistas voltadas para a fertilidade do solo, consorcio de culturas, gestão de resíduos e criação observou que os agricultores combinam o cultivo com a manutenção dos nutrientes P e K no solo através da aplicação de esterco que constituía a fonte mais importante de nutriente em uma das localidades sendo aplicado de forma eficiente.

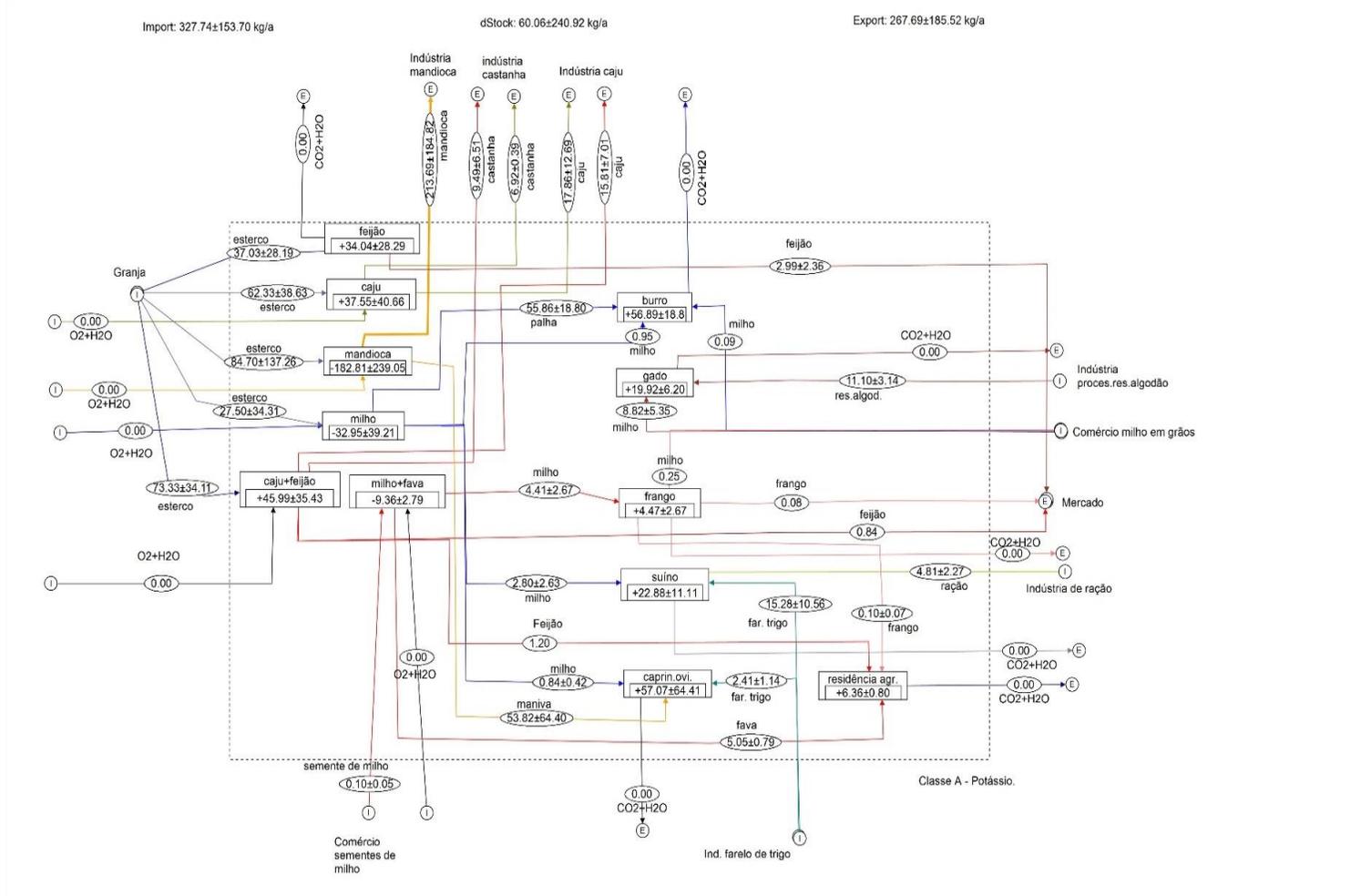
Tabela 8 - Fluxos de K entre o sistema e os processos e entre processos dentro do sistema, classe A.

Classe A	Importação total de K (kg ano ⁻¹)		Exportação total de K (kg ano ⁻¹)	
	Dos processos de fora para os de dentro do sistema	Entre os processos de dentro do sistema	Dos processos de dentro para os de fora do sistema	Entre os processos de dentro do sistema
Feijão	37,03	0	2,99	0
Caju	62,33	0	6,92 +17,86 do fruto	0
Mandioca	84,7	0	213,69	53,82
Milho	27,5	0	0	59,61
Caju+feijão	73,33	0	26,14	1,2
Milho+fava	0,1	0	0	9,46
Res. agricultor	0	6,35	0	0
Burro	0,09	56,81	0	0
Gado	19,92	0	0	0
Frango	0,25	3,05	0,08	0,1
Suíno	20,09	2,8	0	0
Caprino ovino	2,41	54,66	0	0
Total	327,75	123,67	249,82	124,19
Médias	29,80	24,734	49,96	24,84

Tabela 9 - Fluxos de K entre o sistema e os processos e entre processos dentro do sistema, classe B.

Casse B	Importação total de K (kg ano ⁻¹)		Exportação total de K (kg ano ⁻¹)	
	Dos processos de fora para os dentro do sistema	Entre os processos de dentro do sistema	Dos processos de dentro para os de fora do sistema	Entre os processos de dentro do sistema
Feijão	0	0	0	3,9
Caju	89,1	0	13,4	0
Mandioca	25,67	0	157,14	0
Milho	22,12	0	0	4,4
Res. agricultor	0	0	0	0
Burro	1,68	0	0	0
Gado	0	0	0	1,61
Frango	7,25	0	0	0,19
Suíno	38,79	0	0,12	0
Caprino ovino	1,94	4,4	0	0
Total	186,55	4,4	170,66	10,1
Médias	26,65	0,00	56,89	2,53

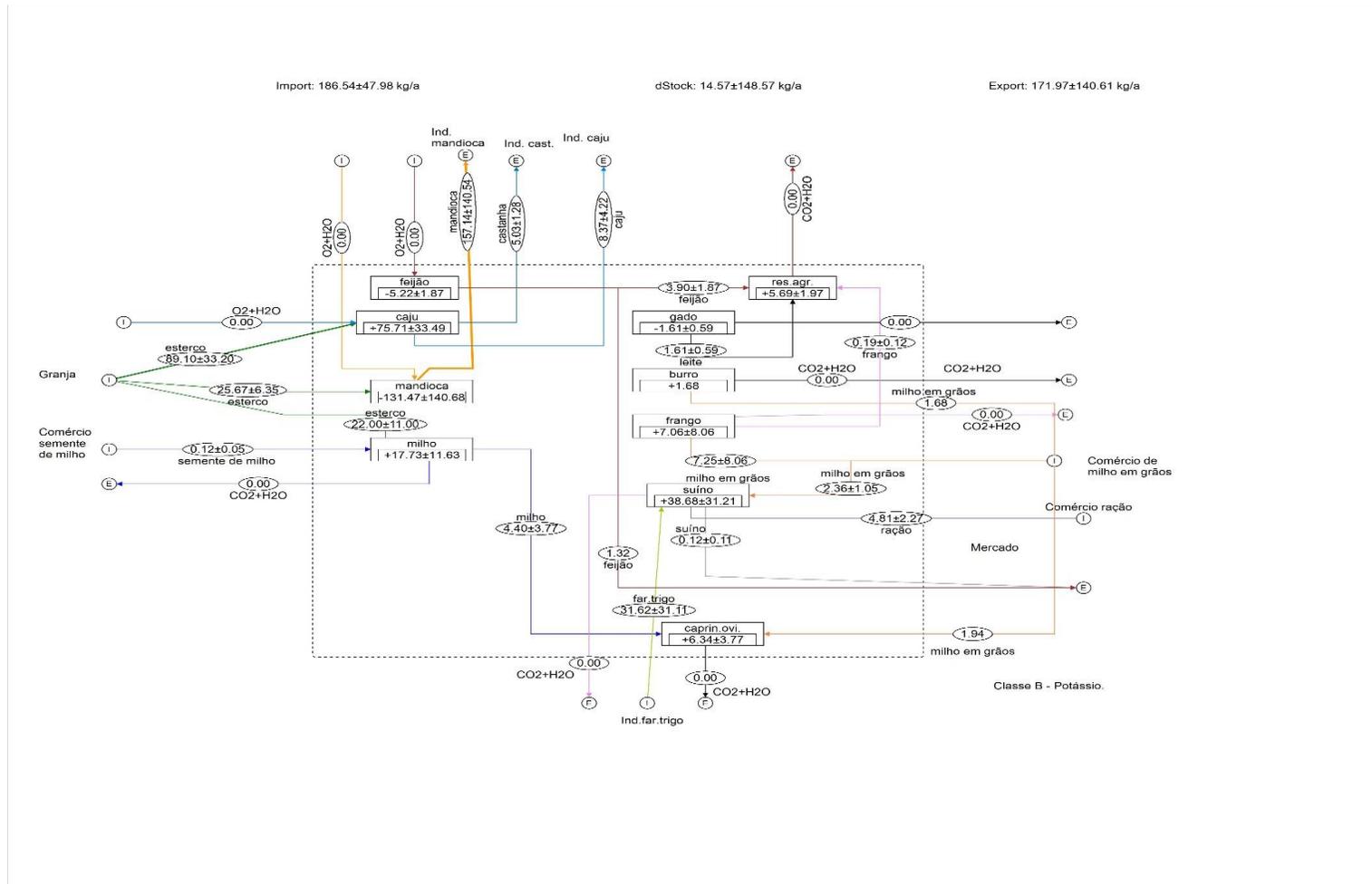
Figura 6 - Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe B.



Fonte: Camelo (2015).

Dentro do sistema os fluxos de cada processo são representados por cores. A linha tracejada representa a fronteira do sistema. As setas, os balões contendo a letra E ou I representam fluxos que ainda podem ser de exportação e importação.

Figura 7 - Análise de Fluxos de Materiais em propriedades rurais pertencentes à classe B.



Fonte: Camelo (2015).

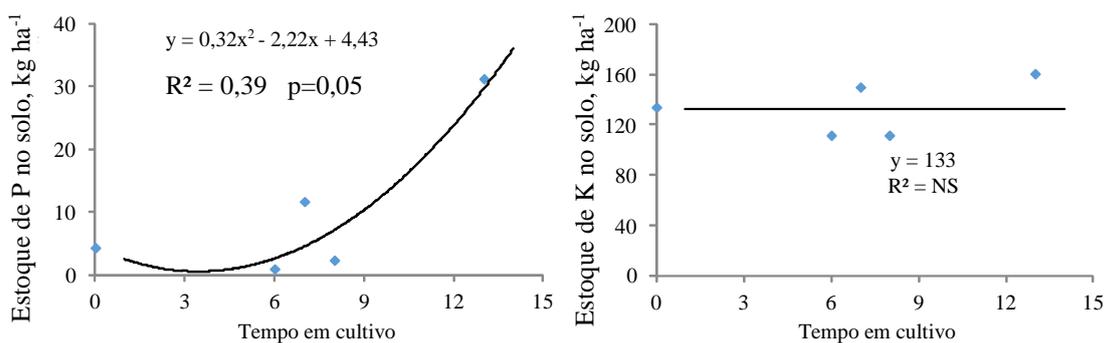
Dentro do sistema os fluxos de cada processo são representados por cores. A linha tracejada representa a fronteira do sistema. As setas, os balões contendo a letra E ou I representam fluxos que ainda podem ser de exportação e importação.

4.5 Estoque de nutrientes

O estoque de P no solo cultivado com caju nas propriedades pertencentes à classe A sofreu incrementos em comparação ao solo não cultivado, principalmente a partir do sétimo ano de cultivo (figura 8). O aumento do P no solo está relacionado ao balanço positivo de 222,11 kg de P (fig. 4) e consequente acúmulo do nutriente nesse processo de aproximadamente $17,91 \text{ kg ha}^{-1}$ visto que a área média desse processo foi de 12,4 ha (tab. 4). Note que o aumento médio anual de P disponível no processo entre o sexto e o décimo segundo ano de produção foi de aproximadamente $5 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, muito inferior ao P acumulado no processo observado na análise de fluxo de P (tab. 6). Partindo-se do pressuposto que a lixiviação de P é negligível, a maior parte do P aplicado é imobilizada no processo, seja por adsorção nos colóides do solo ou na constituição da biomassa das plantas de caju.

Os estoques de K das amostras de solo analisadas se mantiveram constantes durante doze anos de cultivo (Fig. 8). A análise de fluxos de K revelou que houve um balanço positivo de 37,55kg de K (fig.7) em 12,4 ha (tab.4) desse processo, resultando em um acúmulo de aproximadamente $3,03\text{kg ha}^{-1}$ de K. Visto que o acúmulo de K no processo foi pequeno, provavelmente tenha sido todo imobilizado nas plantas de caju.

Figura 8 - Variação dos estoques de P e K do solo.



Variação dos estoques de P e K do solo em função do tempo em cultivo de caju de produtores pertencentes a classe A.

5.CONCLUSÃO

Nossa abordagem poderia servir como ponto de partida para estudos que a partir das falhas identificadas possam reconhecer estratégias para a otimização do P e do K no sistema. Seja pela implementação de estratégias para promover a ciclagem interna de P e K, utilizando resíduos animais na produção vegetal, ou seja, pela melhoria da eficiência do uso do nutriente P que vem sendo aplicado em quantidades elevadas no sistema.

A produção de mandioca revelou-se como principal dreno de K do sistema, sendo, portanto, o levantamento e análise dos resíduos produzidos no processamento da mesma o próximo passo para identificar estratégias para possibilitar os ciclos alimentares de nutrientes.

O mapeamento dos fluxos não identificou nenhuma ciclagem de nutrientes. O diferente grau de diversidade e interações entre as atividades, não foi explorado de forma satisfatória devido à ausência estratégias adequadas que viabilizassem o retorno dos nutrientes para as áreas de origem. As interações entre as atividades se restringiram a fluxos gerados a partir da produção vegetal para a produção animal.

REFERÊNCIAS

- ACHIBA, W. B. et al. Effects of 5 - year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. **Agriculture Ecosystems and Environment**. v.130, p.156 – 163, 2009.
- ARAUJO, A. E. de et al. Cultura do Algodão Herbáceo na Agricultura Familiar. 2003. Disponível:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoAgriculturaFamiliar/subprodutos.htm>>. Acesso em: 3 abr. 2015.
- AZEVEDO, J.N.; FRANCO, L.J.D.; ARAÚJO, R.O. da C. **Composição química de sete variedades de feijão-fava**. Teresina, PI: EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003. 4p. (EMBRAPA MEIO-NORTE. Comunicado Técnico, 152.)
- BACCINI, P. AND BRUNNER, P. **Metabolism of the Antroposphere**, Berlin: Springer Verlag, p.212, 1991.
- BATIONO, A.; LOMPO, F.; KOALA, S. Research on nutrient flows and balances in West-Africa: state-of the-art. **Agric. Ecosyst. Environ.** v.71, p.19–35, 1998.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. Prentice-Hall: Netherlands. 13th.ed.p.980, 2002.
- BRAVO, D. et al. Phosphorus availability of oilseed meals determined by the apparent faecal digestibility technique. **Animal Feed Science and Technology**. v.108, p.43–60, 2003.
- BRUNNER PH; RECHBERGER H. **Practical handbook of material flow analysis**. London, UK: Lewis Publ; 2004.
- BÜNZEN, S. Digestibilidade do fósforo de alimentos de origem vegetal determinada em suínos em crescimento e terminação. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 7, n. 37, p.1236-1242, jul. 2008.
- CALONEGO, C. et al. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p.770-781, set. 2012.
- CAREY. P.L.; BENGE, J.R.; HAYNES R.J. Comparison of soil quality and nutrient budgets between organic and conventional kiwifruit orchards. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.132, p.7–15, 2009.
- Cencic, O.; Rechberger, H., Material flow analysis with software STAN. **Journal of Environmental Engineering and Management**, Romania, 18 (1), p.3-7, 2008.
- CHILDERS, D.L. et al. Sustainability challenges of phosphorus and food: solutions from closing the human phosphorus cycle. **Bio Science**. v.61, p.117-124, 2011.
- CHOWDHURY, R. B.et al. A review of recent substance flow analyses of phosphorus to identify priority management areas at different geographical scales. **Resources, Conservation And Recycling**, Amsterdam, v. 83, p.213-228, fev. 2014.

COLLETE, L. et al. **Save and Grow: A Policemaker's Guide to the Sustainable Intensification of Smallholder Crop Production**. Home: FAO, 2011. 112p. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em 09 abr. 2014.

CONNOR, D.j., Organic agriculture cannot feed the world. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 106, n. 2, p.187-190, mar. 2008.

COOPER, J. et al. The future distribution and production of global phosphate rock reserves. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 57, p.78-86, dez. 2011.

CORDELL D, WHITE S: Securing a sustainable phosphorus future for Australia. **Farm Policy J**. U.S.A., p.7:1-17, 2010.

CORDELL, D.; DRANGERT, J.O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environ Change**. 19:292-305, 2009.

DORÉ, T. et al. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. **Europ. J. Agronomy**. Denmark, p.197–210, 2011.

DUARTE, J.M; ARECO, K. C. N. Tabela de composição química dos alimentos. Departamento de informática em saúde. Disponível em:<<http://www2.unifesp.br/dis/servicos/nutri/public/>>. Acesso em 5 fev.2015.

DUNGAIT, J.A.J. et al. Advances in the understanding of nutrient dynamics and management in UK agriculture. **Science of the Total Environment**. n.434, p.39-50, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 212p.

ESILABA. A. O. et al. Resource flows and nutrient balances for crop and animal production in smallholder farming systems in eastern Uganda. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.109, p. 192–201, 2005.FILHO, J. C. DA S.; ARMELIN, M. J. A.; SILVA, A. G. DA. Determinação da composição mineral de subprodutos agroindustriais utilizados na alimentação animal, pela técnica de ativação neutrônica. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 34, n. 2, p.235-241, fev. 1999.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v.309, p.570–574, 2005.

FRAGOSO, H.A. et al. Exportação de macronutrientes pela castanha e pseudofruto de dos clones de cajueiro anão-precoce. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 23:603-608, 1999.

FROTA, K. DE M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciênc. Tecnol. Aliment**. Campinas, v. 2, n. 28, p.470-476, abr./jun, 2008.

GILLER, K.E. Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems. CABI Publishing, 2001.

GRANSTEDT, A. Increasing the efficiency of plant nutrient recycling within the agricultural systems a way of reducing the load to the environment – experience from Sweden and Finland. **Agric. Ecosyst. Environ.** p.80: 169-185 2000.

HARRIS, F. Farm-level assessment of the nutrient balance in northern Nigeria. **Agriculture, Ecosystems and Environment.** v.71, p, 201–214, 1998.

HARTEMINK, A.E. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. **Advances in Agronomy.** v.89, p.179–225, 2006.

HOFFMANN, I. et al. Farmers’ management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p.263-275, set. 2001.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006.** Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 27jan. 2015.

IPCE, INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATEGIA ECONOMICA DO CEARA. Perfil básico do município de Redenção 2014. Disponível em: <www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2014/Redencao.pdf> Acesso em: 27 jan. 2015.

JASINSKI, S.M. Phosphate Rock, Mineral Commodity Summaries. U.S. **Geological Survey**; 2011.

KIRCHMANN, H.; KATTERER, T.; BERGSTRO, M. L. Nutrient supply in organic agriculture: plant availability, sources and recycling. In: Kirchmann H.; Bergstrom L. (eds.) **Organic crop production—ambitions and limitations.** Springer, p. 89–116. 2008.

KIRCHMANN, H; NYAMANGARA, J.; COHEN, Y. Recycling municipal wastes in the future: from organic to inorganic forms? **Soil use and Management.**v.21, p.152–159, 2005.

KUHN, E. A. **Metabolismo de um município brasileiro de pequeno porte: o caso de Feliz, RS.** 2014. 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LEHTOMÄKI, A. **Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues.** 1ªed. Filand: University of Jyvaskyla, 2006.

LEIFELD, J. How sustainable is organic farming? **Agriculture, Ecosystems and Environment.** v. 150, p.121– 122, 2012.

LESSCHEN, J. et al. A spatially explicit methodology to quantify soil nutrient balances and their uncertainties at the national level. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** 78 (2):111–131, 2007.

LIMA, R.de L. S.de. Volume de recipientes e composição de substratos para produção de mudas de mamoneira. **Ciênc. Agrotec.** Lavras, v. 30, n. 3, p.480-486, maio 2006.

LIU, Y.et al., Global phosphorus flows and environmental impacts from a consumption perspective. **J. Ind. Ecol.**, p.12:229-247, 2008.

MACHADO, J.A.C. e FENZL, N. (2000) **A sustentabilidade do desenvolvimento e a demanda material da economia: o caso do Brasil comparado ao de países industrializados.** Novos cadernos NAEA, nº 155. UFPA/NAEA, Belém.

MEZETTE, T. F. et al. Seleção de clones-elite de mandioca de mesa visando a características agrônômicas, tecnológicas e químicas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p.601-609, 2009.

MÖLLER, K. Inner farm nutrient flows between arable land and permanent grass land via the stable in organic cropping systems. Institute for Plant Nutrition, Universidad. **Europ. J. Agronomy**, n. 31, p.204–212, 2009.

NESET, T. S. et al. The flow of phosphorus in food production and consumption — Linköping, Sweden, 1870–2000. **Science Of The Total Environment**, Amsterdam. v. 396, n. 2-3, p.111-120, jun. 2008.

Novak, J.M. et al., 2000. Phosphorus movement through a Coastal Plain soil after a decade of intensive swine manure application. **Journal of Environmental Quality**, Madison, 29:1310-1315.

OENEMA, O.; KROS, H.; DE VRIES, W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. **Eur. J. Agron.** Denmark, n.20p. (1–2):3–16. 2003.

OLOGHOBO, A.; FETUGA, B. L. Compositional differences in some lima bean (*Phaseolus lunatus*) varieties. **Food Chemistry**, Inglaterra, v. 10, n. 4, p.297-307, abr. 1983.

PASSEL, S. V.; MEUL, M. Multilevel and multi-user sustainability assessment of farming systems. **Environmental Impact Assessment.**, n.32 (2012) 170–180

PFISTER, F.; BACCINI, P. Source potentials and limitations of a Nicaraguan agricultural region. **Environment development and sustainability.** p.7:337 – 361, 2005.

PINHEIRO, R. E. E. Qualidade da carne de suínos mestiços comerciais e sem raça definida criados em regime intensivo. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v. 14, n. 1, p.149-160, jan. 2013.

PLACE, F. et al. Prospects for integrated soil fertility management using organic and inorganic inputs: evidence from small holder African agricultural systems. **Food Policy**, v. 28, 365 – 378, 2003.

POWLSON, D. et al. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. **Food Policy.**, p.36:72–87, 2011.

RAMOS, N. K. **Sustentabilidade incógnita: Análise de fluxos materiais em três Comunidades impactadas pela instituição da Floresta Nacional de Caxiuanã - PA.** Dissertação de Mestrado (Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Curso Internacional de Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento - PLADES) - Belém, Pará: Universidade Federal do Pará, 2001.

RAVINDRAN, G; RAVINDRAN, V. Changes in the nutritional composition of cassava (*Manihot esculenta crantz*) leaves during maturity. **Food Chemistry**, England, v. 27, n. 4, p.299-309, 1988.

REEVE, J.R.; CARPENTER-BOGGS L.; SEHMSDORF, H. Sustainable Agriculture: A case study of a small Lopez Island farm. **J. Agricultural Systems**, v.104, p. 572-579, 2011.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais, Embrapa, p.30, 2010.

ROSTAGNO, H. S et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.** 3. Ed. Viçosa: UFV, 2011. 252p.

ROSTAGNO, H.S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.** 2.ed. Viçosa, MG: **Universidade Federal de Viçosa**, 2005. 186p.

RUFINO, M.C. et al. Manure as a key resource within smallholder farming systems: analyzing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the nuances framework. **Livest. Sci.**, v.112, p.273–287, 2007.

RUFINO, M.C. et al. Network analysis of N flows and food self-sufficiency—a comparative study of crop-livestock systems of the highlands of East and southern Africa. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** p. 85:169–186, 2009.

RUNNER, P. H.; BACCINI, P. **Metabolism of the Anthroposphere:** “Analysis, Evaluation, Design”. 2. ed. Cambridge, MA, U.S.A: Mit Press Ebooks, 2012. 408 p.

SEVERINO, L.S; LIMA, R. de L. S de; BELTRÃO, N. E. de M. **Composição química de onze materiais orgânicos utilizados como substrato para produção de mudas.** Campina Grande PB: Embrapa Algodão, 2006. 5p. (Embrapa algodão. Comunicado técnico, 278).

SMIT, A.L.et al. Phosphorus in Agriculture: Global Resources, Trends and Developments, Report to the Steering Committee Technology Assessment of the (Dutch) Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, Report 282, **Plant Research International**,p.36, 2009.

SMITH, E. et al. Simulated management effects on ammonia emissions from field applied manure. **J. Environ. Manage**, V.90, p.2531–2536, 2009.

STOLZE, M. et al. The environmental impact of organic farming in Europe. *Organic Farming in Europe: Economics and Policy*, v. 6. University of Hohenheim, Germany. ISBN 3-933403-05-7, ISSN 1437-6512, 2000.

STOORVOGEL, J.J.; SMALING, E.M.A.; **Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa: 1983±2000**. Report 28, DLO Win and Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research (SC-DLO), Wageningen, Netherlands, 1990.

TANIMOTO, A. H. **A economia medida pela Análise de Fluxos de Massa (AFM): A desmaterialização da economia nos países desenvolvidos sustentada pelos recursos naturais dos países emergentes, a exemplo do Brasil**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Brasília: Universidade de Brasília, 2010.

TITTONELL, P. et al. Agroecology based aggradation-conservation agriculture (ABACO): targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa. *Field Crop Res.* v.132, p.168–174, 2012.

TUOMISTO, H. L. et al. Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta – analysis of European research. *Journal of Environmental Management*, V. 112, p. 309 e 320, 2012.

VAN NOORDWIJK, M. Nutrient cycling in ecosystems versus nutrient budgets of agricultural systems. In: Smaling EMA, Oenema O, Fresco LO (eds.) **Nutrient disequilibria in agroecosystems**. Concepts and case studies. CABI Publishing, Wallingford, p. 1–26, 1999.

VUUREN P. V, BOUWMAN AF, BEUSEN AHW. Phosphorus demand for the 1970–2100 period: a scenario analysis of resource depletion. *Global Environmental Change.U.S.A.*;20(3):428–39, 2010.

VANEECKHAUTE, C. et al. Ecological and economic benefits of the application of bio-based mineral fertilizers in modern agriculture. *Biomass and bioenergy*, v.49, p. 239 e 248, 2013.

WATSON, C.A. et al. Managing soil fertility in organic farming systems. *Soil use Manage*, p. 18:239 – 247, 2002.

WILLIAMS, P.H.; HAYNES, R.J. Effect of sheep, deer and cattle dung on herbage production and soil nutrient content. *Grass Forage Sci.*, v.50, p.263–271, 1995.

XAVIER, F. A. da S.; OLIVEIRA, T. S. de; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. de S. Phosphorus fractionation in a sandy soil under organic agriculture. *Geoderma*.v.151, p.151. 2009.

ZARDO, A.O., LIMA, G. J.M.M. **Alimentos para Suínos**. Boletim informativo de Pesquisa-Embrapa-suínos e extensão. BIPERS N. 12, ANO 8. Concórdia. 1999. 61p.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO DURANTE A ENTREVISTA AOS PRODUTORES

QUESTIONÁRIO APLICADO DURANTE A ENTREVISTA AOS PRODUTORES DAS PROPRIEDADES RURAIS DE REDENÇÃO - CE

1. Tem produção animal? Que espécies? (Produção média)
2. Qual o objetivo da produção? Caso seja venda onde é feita? Com que frequência e em que quantidade?
3. Caso seja o consumo com que frequência é feito e em que quantidade?
4. Qual a origem da alimentação animal? Qual a quantidade de alimentos por eles consumida?
5. Aproveita algum resíduo da criação animal? De que forma?
6. Tem produção vegetal? Caso tenha qual a origem e a quantidade de semente utilizada para o plantio?
7. Qual a área ocupada pela produção? Se houver variedade vegetal quanto é produzida de cada um?
8. Há consumo próprio? Caso haja em que quantidade e com que frequência?
9. É feito algum preparo do solo para o cultivo?
10. É utilizado algum tipo de adubo? Orgânico ou químico? Em que quantidade? Se for químico verificar a formulação.
11. É feito algum aproveitamento dos resíduos da produção vegetal? Em que quantidade e com qual frequência?

