

VI-215 - CONTRIBUIÇÃO DOMÉSTICA PARA O FLUXO URBANO DOS NUTRIENTES: A ROTA DOS ALIMENTOS

Eduardo Cohim⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista pela UFBA - Universidade Federal da Bahia; Engenheiro de Irrigação, UFBA/FAMESF; Mestre em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Ênfase em Produção Limpa – UFBA; Doutor em Energia e Meio Ambiente, UFBA.

Dayane da Mota Campos Montino

Eng^a Ambiental

Endereço⁽¹⁾: Av. Araújo Pinho, 215, apto. 602 – Canela. CEP 40.110-150. Salvador-BA. E-mail: edcohim@gmail.com.

RESUMO

A urbanização e o consumo têm mudado de forma radical a forma como a humanidade se relaciona com o meio ambiente. As cidades são locais de processamento e consumo de recursos naturais que são transformados em resíduos e descartados nas águas ou estocados em aterros. Dentre esses recursos destaca-se os alimentos, responsáveis por 20% dos recursos naturais consumidos na Alemanha. O artigo adota, de forma simplificada, o método da análise de fluxo de materiais para começar a entender a importância da contribuição doméstica do fluxo urbano dos nutrientes através da rota dos alimentos, com base na pesquisa de orçamento familiar realizada pelo IBGE em 2002 e divulgada em 2003.

Os resultados mostram que o aproveitamento dos nutrientes pode reduzir de significativamente o déficit que ocorre hoje nos solos brasileiros, de onde se retira mais do que se põe. Evidencia-se dessa forma o equívoco do saneamento na estratégia de gestão dos nutrientes, resultando no empobrecimento dos solos, abrindo caminho para a desertificação.

Mostra ainda como essa forma de gestão contribui para problemas ambientais desde o aquecimento global à eutrofização. Mostra, também, a ameaça real de exaustão das jazidas de rochas fosfáticas, o que levaria ao colapso do sistema atual de produção de alimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Metabolismo urbano, fluxo de nutrientes, produção de alimentos.

INTRODUÇÃO

A urbanização é, em termos demográficos, o fenômeno mais marcante de nossos tempos. No Brasil, uma população predominantemente rural foi suplantada pela população urbana em meados da década de 60 do século vinte. Hoje, cerca de 85% da população vive em cidades e a previsão da Divisão de População da ONU é de que, em 2050, esse percentual será de quase 95%.

Isso traz sérias consequências para a relação com o meio ambiente. Uma característica da relação das cidades com o seu entorno é a dependência. Isso foi reconhecido de forma exemplar por Abel Wolman em seu artigo seminal para a Scientific American de setembro de 1965: The metabolism of cities (WOLMAN, 1965). Nesse artigo o autor compara a cidade com um organismo e os fluxos de materiais e energia com o seu metabolismo, o metabolismo urbano.

Ainda de acordo com Wolman (1965), as cidades recebem água, alimento, energia e matérias de construção para prover as funções de sanear, abrigar, locomover e nutrir, gerando como subprodutos, lixo, esgoto, calor, ruído, etc. Existem razões práticas para entender o metabolismo urbano. A vitalidade das cidades e sua capacidade de sustentar as funções que possibilitam a habitabilidade, depende de suas relações com o espaço que as cercam, por um lado. E por outro, o aumento do metabolismo implica em maiores perdas de terras agrícolas e biodiversidade e aumento de poluição, reduzindo essa vitalidade (KENNEDY et al., 2007).

A voracidade do organismo urbano pode ser avaliada pela evolução da produção mundial de bens, medida pelo produto mundial bruto. Do início da revolução industrial até os dias atuais, a produção aumentou 400 vezes enquanto a população aumentou cerca de 10 vezes. Nessa evolução, os recursos naturais foram utilizados tanto para prover matéria prima para a produção quanto para receber os resíduos gerados. Em 2005, a extração de materiais para alimentar o metabolismo das cidades atingiu a fantástica marca de 60 bilhões de toneladas, e

continua crescendo (KRAUSMANN et al., 2009). Impressiona nesses dados a desigualdade na utilização desses recursos: o coeficiente de Gini da pegada ecológica é de 0,446 (WEISZ et al., 2010).

O avanço do consumo foi de tal ordem que hoje nos aproximamos perigosamente dos limites do planeta. Neste momento, a Global Footprint Network (2010) nos informa que a humanidade está usando os recursos naturais e produzindo gases de efeito estufa a uma taxa 50% maior que a capacidade de sustentação do planeta. Em recente estudo publicado pela Nature, Rockstrom e colegas (2009) propõem um conjunto de limites que definem o espaço de segurança para a humanidade tendo em vista o sistema natural do planeta. Dentre esses limites, os relativos à perda de biodiversidade e à retirada de N_2 da atmosfera já teriam sido ultrapassados. No que diz respeito ao fósforo, a análise leva em conta apenas o aumento do fluxo desse elemento para os oceanos ao invés da depleção dos estoques desse recurso fóssil.

Um melhor entendimento das mudanças e tendências do metabolismo urbano contribui para entender a dinâmica das relações do homem com o meio ambiente (KRAUSMANN et al., 2009). A análise de fluxo de materiais é uma ferramenta fundamental para a quantificação e monitoramento do uso humano dos recursos naturais. Essa ferramenta pode ser utilizada para avaliar a linearidade ou circularidade dos fluxos de recursos através das cidades, sendo os mais desafiadores para a engenharia ambiental: a água, a energia e os alimentos (WALKER et al., 2009).

O entendimento do fluxo dos nutrientes através dos sistemas urbanos é vital para a definição de estratégias bem sucedidas de gestão desse recurso e, em decorrência, para a sustentabilidade das cidades (KENNEDY et al., 2007).

A produção de alimentos, base da função nutrir, é um dos mais demandantes de materiais, sendo responsável por 20% dos recursos naturais na Alemanha (MANCINI et al., 2011). Aliado a isso, o estudo do fluxo de materiais para os nutrientes ganha maior relevância diante de uma já posta concorrência entre a produção de alimentos e a de bio-energia.

OBJETIVO

O objetivo desse artigo é avaliar, através de uma análise simplificada do fluxo de materiais, a parcela de responsabilidade do setor de saneamento para a pressão sobre os limites planetários, no que diz respeito aos ciclos dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, através da rota doméstica dos alimentos.

METODOLOGIA

O estudo apresentado aqui teve como base dados de diversas pesquisas, de onde foram extraídos os números para montar as entradas e saídas de nutrientes.

A quantidade de alimentos adquirida por pessoa em um ano foi obtida na Pesquisa de Aquisição Alimentar, integrante da Pesquisa de Orçamento Familiar, realizada pelo IBGE em 2002 e divulgada em 2003.

O teor de nutrientes em cada alimento foi obtido na publicação Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO, da UNICAMP (LIMA et al., 2006) e complementado com os dados da Tabela de Composição Química dos Alimentos (FRANCO, 2007). Tanto um como outro se refere a teores de proteína no alimento. Para obter o teor de nitrogênio a partir do de proteína, este foi multiplicado por 0,165, conforme preconizado por diversos autores, por exemplo, Vieira et al. (2008).

Para computar a saída de nutrientes, considerou-se as rotas mais importantes: fezes, urina e os resíduos sólidos. Para as contribuições per capita de nutrientes, adotou-se os valores propostos por Jonsson et al. (2005), comparando-os, quando possível, com dados do Brasil.

Para a saída de nutrientes nos resíduos sólidos, foram utilizados os valores médios de produção per capita de resíduo biodegradável levantados para o Plano de Gerenciamento de Limpeza Urbana do Estado da Bahia (2000). Os teores de nutrientes nessa parcela foram os mesmos proposto por Wendland et al. (2007).

A rota alimentar do fluxo urbano de nutrientes abrange componentes extradomiciliares, relativos tanto ao consumo alimentar em instituições de refeições coletivas, tais como restaurantes e refeitórios industriais,

quanto à excreção dos subprodutos da digestão alimentar. Neste trabalho, considerou-se apenas a contribuição doméstica, ou seja, a parcela de alimentos adquirida para consumo no domicílio, conforme mostrado na **Figura 1**.

Para o cômputo das excreções nos limites estabelecidos para este estudo, admitiu-se que 80% das fezes e 60% da urina são excretados no domicílio.

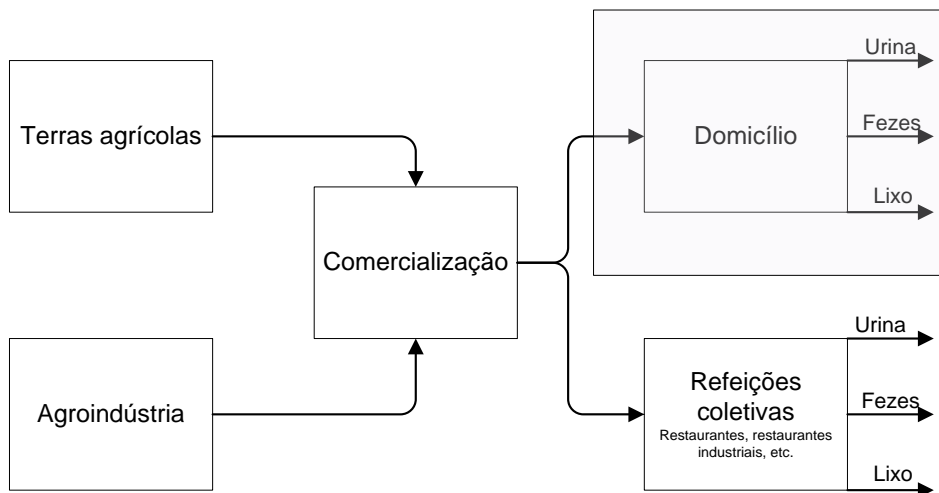


Figura 1 - Limites deste estudo: o foco no domicílio

Com os valores obtidos, montou-se o balanço de entradas e saídas para uma cidade hipotética brasileira com uma população de um milhão de habitantes.

RESULTADOS

A aquisição per capita anual de alimentos apurada Pesquisa de Orçamento Familiar (IBGE, 2003) e seus conteúdos em nutrientes, distribuídos nos grupos de alimentos são mostrados na **Tabela 1**.

Em termos mássicos, os principais alimentos adquiridos pelos brasileiros em 2002 foram os laticínios, os cereais e leguminosas e os produtos de origem animal (carnes, vísceras, pescados e aves e ovos), responsáveis por quase metade de tudo que foi adquirido. Esses grupos são também responsáveis pelo aporte de cerca de 80% do nitrogênio e 70% do fósforo ingeridos. Esses valores referem-se apenas às aquisições para consumo no domicílio, logo, não inclui as parcelas relativas ao consumo fora do domicílio, responsáveis por 24,1% das despesas com alimentação, nem as refeições fornecidas nos locais do trabalho.

De acordo com os dados da FAO (FAOSTAT, 2011), o consumo per capita no Brasil, a exemplo de outros países em desenvolvimento, tem se caracterizado por uma crescente participação de produtos de origem animal. Enquanto o consumo de cereais cresceu 20% entre 1961 e 2003, o consumo de carnes e de leite e derivados dobrou no mesmo período (111% e 99% de crescimento, respectivamente). Em termos ambientais, os produtos de origem animal são mais impactantes uma vez que são mais intensivos em uso de recursos naturais.

Os números da **Tabela 1** representam as entradas do modelo de metabolismo urbano, que totalizam um ingresso anual por habitante, via alimentação no domicílio, de 3.353,0 g de nitrogênio, 335,1 g de fósforo e 1.446,9 g de potássio. Admitindo-se que não existe acúmulo desses elementos nos corpos das pessoas (uma pessoa que vivesse 70 anos acumularia, só em nitrogênio, mais de 220 kg), esses nutrientes deixam o domicílio mais cedo ou mais tarde, num balanço final nulo.

Assim, de todo o nutriente aportado ao domicílio parte é eliminado na forma de perdas e desperdícios através do lixo e parte é ingerido e eliminado algumas horas depois através de urina e fezes, podendo ser ou não coletados para uma disposição adequada. Em qualquer dos casos, coletado e disposto adequadamente ou não, o destino desses nutrientes não é o retorno aos solos de onde vieram.

Tabela 1 - Aquisição alimentar, por habitante, no Brasil em 2002 e respectivos teores de nutrientes

Produto	Massa (kg)	Nutrientes (g)		
		N	P	K
Cereais e leguminosas	48,4	833,4	94,2	192,1
Hortaliças	29,0	78,6	10,3	69,9
Frutas	25,8	40,6	4,7	51,7
Cocos, castanhas e nozes	1,6	4,8	0,7	2,4
Farinhas, féculas e massas	22,8	228,3	20,0	48,2
Panificados	20,3	267,6	23,1	29,9
Carnes	25,2	751,0	41,3	150,1
Vísceras	0,9	28,8	2,1	1,9
Pescados	7,4	134,5	8,2	11,3
Aves e ovos	15,6	461,3	28,6	35,1
Laticínios	49,9	387,1	67,9	79,3
Açúcares, doces e produtos de confeitaria	23,5	37,2	5,8	18,4
Sais e condimentos	6,0	24,0	1,9	612,0
Óleos e gorduras	10,2	0,8	0,1	0,2
Bebidas e infusões	45,3	26,4	6,0	110,8
Alimentos preparados e misturas industriais	2,6	48,7	20,2	33,5
Total	334,3	3.353,0	335,1	1.446,9

Fontes: Elaboração própria a partir de IBGE, 2003; Lima, 2006; Franco, 2007

As contribuições diárias per capita nas duas principais rotas de excreção são, respectivamente, para fezes e urina: 1,5 g de nitrogênio, 0,5 g de fósforo e 1,0 g de potássio e 11,0 g de nitrogênio, 0,5 g de fósforo e 2,5 g de potássio (JONSSON et al., 2005). Bazzarela et al. (2007) em pesquisa realizada na UFES encontraram para as cargas per capita na urina 11,6 g de nitrogênio e 0,55 g de fósforo.

Para avaliar a parcela de saída de nutrientes nos resíduos sólidos, utilizou-se o valor médio obtido no levantamento feito para o Plano de Gerenciamento de Limpeza Urbana do Estado da Bahia (2000), que informa uma contribuição per capita de resíduo biodegradável no lixo doméstico de 0,448 kg/hab.dia. Os teores de nitrogênio, fósforo e potássio adotados foram, respectivamente, 5,3, 0,53 e 1,8 g/kg de lixo orgânico doméstico (WENDLAND et al., 2009). Assim, a saída de nutrientes através do lixo seria de 2,4 g/hab.dia, 0,24 g/hab.dia e 0,8 g/hab.dia, respectivamente para nitrogênio, fósforo e potássio.

Admitiu-se que 60% da urina, 80% das fezes e 100% do resíduo de cozinha saem através do domicílio. A **Tabela 2** resume as contribuições per capita para as diversas correntes. Outra vez, destaca-se que esses valores referem-se apenas à parcela de contribuição do domicílio.

Tabela 2 - Contribuição domiciliar per capita de nutrientes

Corrente	Nutriente (g/hab.dia)		
	N	P	K
Fezes	1,2	0,4	0,8
Urina	6,6	0,3	1,5
RSD	2,4	0,2	0,8
TOTAL	10,2	0,9	3,1

Considerando-se a população da cidade hipotética de 1 milhão de pessoas, o balanço resultante seria conforme mostrado no diagrama da **Figura 2**.

Dos alimentos adquiridos no ano de 2003 pelo brasileiro, apenas 0,6% vem do mar, o restante vem da terra, de onde são retirados os nutrientes. Na análise do fluxo de nutrientes da cidade hipotética, observa-se que sua característica básica é sua natureza linear. Todo esse nutriente vem dos solos das áreas agrícolas (a fonte) e é lançado nos corpos d'água de onde atingem o mar (sumidouro), ou em aterros sanitários ou lixões.

Caracteriza-se aqui também o duplo impacto da forma de produção de bens de nossa civilização: depleciona por um lado e degrada por outro.

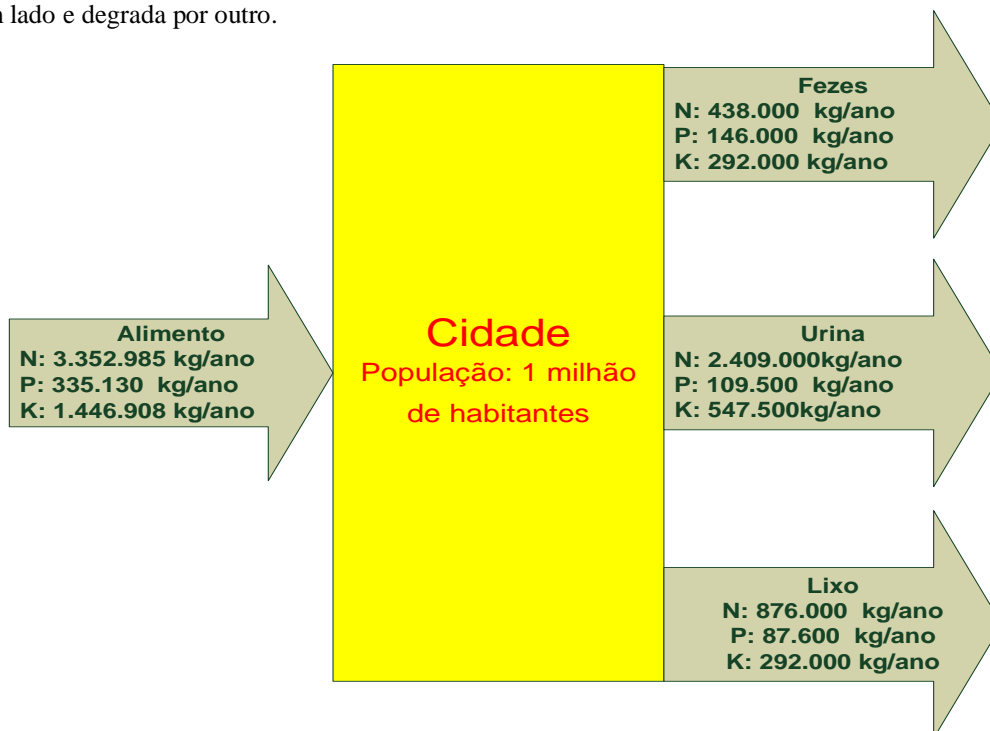


Figura 2 - Diagrama simplificado do fluxo de nutrientes em uma cidade

Essa situação é agravada pelo modelo exportador de produtos agrícolas. Apenas com a soja exportada em 2002, 36 milhões de toneladas, deixam nossos solos 1,4 milhão de toneladas de nitrogênio e 176 mil de fósforo. Evidentemente, esse fluxo de nutrientes gera um balanço negativo no solo, como pode ser visto na **Tabela 3**, e que podem ser traduzidos pela expressão: empobrecimento dos solos. A perda de fertilidade é um fator importante para levar à desertificação. No Brasil, as áreas em processo de desertificação somam 1.338.076 km², o que equivale a 15,72% do território brasileiro, e abrigam uma população de mais de 31,6 milhões de habitantes sendo 18,65% da população do país (ONU, 2006).

Tabela 3 – Balanço de fertilizantes no Brasil para o ano de 2002 (toneladas)

Nutriente	Entrada	Remoção	Balanço
Nitrogênio, N	1.041.472	1.900.574	- 859.102
Fósforo, P ₂ O ₅	805.407	1.319.487	- 514.080
Potássio, K ₂ O	2.047.919	2.372.703	- 324.784

Considerando que esses são resultados médios para o Brasil, a recuperação integral dos nutrientes que saem dos domicílios produziria 633 mil toneladas de nitrogênio, 134 mil de fósforo e 233 mil de potássio. Esses valores ajudariam a reduzir em 74%, 26% e 72% os déficits de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. Isso apenas com os “resíduos” das residências.

Mas os resultados vão bem mais além. Atualmente a síntese de amônia produzida pela indústria petroquímica para a fabricação de amônia, consome algo em torno de 13,3 kWh por kg de nitrogênio (OECD/IEA, 2008). Isso representa, para a nossa cidade hipotética, um consumo de 45 mil MWh por ano, o suficiente para atender 15% de sua população. Além disso, o nitrogênio não aproveitado se junta à crescente parcela de nitrogênio reativo produzido anualmente, com conseqüências para o aquecimento global e as chuvas ácidas.

Ainda com relação ao nitrogênio, é importante considerar o efeito da produção artificial desse fertilizante no meio ambiente. O nitrogênio, junto com outros fertilizantes minerais e a prática da irrigação tem sido responsável pelo que se chama de revolução verde, responsável pela elevação da produtividade agrícola. Entretanto, o conhecimento adquirido nas últimas décadas acerca do ciclo global do nitrogênio tornou mais claro que a adição artificial de desse nutriente à biosfera tem impactado ecossistemas inteiros em muitas

regiões do mundo (MATTHEWS e HAMMOND, 1999). Segundo Vitousek e outros (2000), o ritmo de fixação artificial desse nutriente já, no mínimo, se superou a taxa de fixação dos sistemas terrestres.

Esses autores apontam os impactos que, com certeza, são consequência das alterações humanas no ciclo do nitrogênio: 1) Aumento na concentração global de N_2O ; 2) Perda de nutrientes essenciais para a fertilidade do solo, com cálcio e potássio; 3) Acidificação de solos e cursos de água e lagos e; 4) Aumento acentuado do transporte de nitrogênio por rios para estuários e áreas costeiras, onde ele é um poluente importante. E ainda, acreditam que as alterações no ciclo do nitrogênio são responsáveis por: 1) Perda acelerada da diversidade biológica, especialmente entre plantas adaptadas a solos com baixa concentração de nitrogênio e, conseqüentemente, de animais e microrganismos que dependem dessas plantas; 2) Mudanças na vida de plantas e animais e processos ecológicos de ecossistemas estuarinos e; 3) Declínio em longo prazo dos pesqueiros marinhos.

O fósforo é essencial a todas as formas vivas, do vírus ao homem. Nós obtemos o fósforo de que precisamos do alimento que ingerimos que, por sua vez, o obtém do solo. Os fertilizantes fosfatados são essenciais à moderna agricultura. Por suas características, o fósforo é um recurso crítico, em termos globais, juntamente com a água e a energia (CARDELL, 2009). Mas, enquanto a água é um recurso renovável e a energia possa ser obtida de fontes diversas, o fósforo não tem um substituto.

Em torno de 90% da rocha fosfática extraída é destinada a produção de alimento e sua distribuição na crosta terrestre é pobre e desigual, estando sob controle de um pequeno número de países. Especialistas afirmam que, mantida a taxa de consumo atual, o que não inclui os programas de produção de biocombustível, as reservas conhecidas de fósforo estarão exauridas em um período de 50 a 100 anos (FAO, 2006).

Os solos brasileiros são, em geral, ácidos e pobres em fósforo. A agricultura intensiva para atender a demanda de alimentos e as exportações é fortemente dependente dos fertilizantes fosfatados. Entre 2002 e 2007, o consumo de adubos fosfatados cresceu a uma taxa anual média de 9,0% enquanto que a produção cresceu a 7,0%. Mas nossas reservas de rochas fosfáticas são limitadas e reduzidas, pouco mais de 300 milhões de toneladas e caso se mantenha essa taxa de crescimento da produção nacional, elas estariam esgotadas em pouco mais de 20 anos, o que torna o país extremamente vulnerável em sua capacidade de produção de alimentos.

Um aspecto crítico na gestão dos nutrientes é a concentração em que estes se encontram nas diversas vias por onde são descartados. Quanto mais concentrados, menor o custo energético e financeiro do reaproveitamento. Outro aspecto relevante diz respeito à mistura com produtos tóxicos. Apesar disso, nosso sistema de saneamento dilui 1,5 L de urina, o principal veículo dos nutrientes, em 150 L de água e mistura com outras correntes com características distintas, dificultando a separação e o aproveitamento dos nutrientes. O mesmo ocorre com as fezes. Com o lixo, embora não ocorra diluição em água, ocorre uma mistura com produtos

A análise de fluxo do fluxo de nutrientes apresentada não inclui parcelas importantes do como as perdas que ocorrem na comercialização de alimentos, a entrada de ração para animais domésticos e seus excrementos e o uso urbano de fertilizantes. Entretanto, os números mostram pela ordem de grandeza, a importância de se dedicar mais atenção à gestão desse recurso como forma de assegurar a sustentabilidade da função “alimentar”.

CONCLUSÃO

O estudo mostra um exemplo de análise do metabolismo urbano de nutrientes para uma cidade hipotética no Brasil.

Embora haja certa imprecisão nos dados e algumas simplificações para facilitar o estudo, os resultados são indicadores de uma tendência que coloca em risco a capacidade do país sustentar por um período longo sua produção agrícola.

Os resíduos urbanos, sobretudo os esgotos, caso tenham seus nutrientes reciclados para a produção de alimentos, podem dar uma grande contribuição para reduzir em 74%, 26% e 72% os déficits de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente.

A economia de energia para produção de uréia resultante do aproveitamento do nitrogênio dos resíduos domiciliares seria suficiente para abastecer 15% da população.

O fósforo é um recurso fóssil, pouco abundante no planeta e muito escasso no Brasil. O desperdício desse nutriente contido nas excretas compromete a sustentabilidade do sistema de produção de alimentos.

A exploração das jazidas de rochas fosfáticas para produção de fertilizantes pode levar à exaustão dessa fonte em cerca de 20 anos.

O modelo econômico baseado na exportação de produtos primários, principalmente soja, precisa ser revisto para manter a capacidade de alimentar as futuras gerações de brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FRANCO, Guilherme. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 2007
2. Global Footprint Network. Disponível em: http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/world_footprint/. Acesso em: outubro/2010
3. IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de Índices de Preços, **Pesquisas de Orçamentos Familiares**. 2003
4. JONSSON, H. et al. **Composition of urine, faeces, greywater and biowaste**. Gothenburg, Suécia: Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University, 2005.
5. KENNEDY, C.; CUDDINY, J.; YAN, J.E. **The Changing Metabolism of Cities**. Journal of Industrial Ecology, Vol. 11, nº 2, 2007.
6. KRAUSMANN, F. et al. **Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century**. Graz Wien, Austria: Elsevier B.V. 2009.
7. LIMA, Dag M. et al. **Tabela brasileira de composição de alimentos** Versão II. -- 2. ed. -- Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006. 113 p.
8. MANCINI, L. et al. **Application of the MIPS method for assessing the sustainability of production-consumption systems of food**. Journal of Economic Behavior & Organization Ancona, Italy: Elsevier B.V. 2011.
9. OECD/IEA, ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT / INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy technology perspectives, scenarios and strategies to 2050**. Paris, 2008. 650p
10. ROCKSTROM, J. et al. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. Ecology and Society, vol 14, n. 2, 2009
11. WALKER, R.V. et al. **Eco-Effectiveness, Eco-efficiency, and the Metabolism of a City: a Multi-sectoral Analysis**. San Antonio, USA: [s.n.] 2009.
12. WENDLAND, C. **Anaerobic digestion of blackwater from vacuum toilets and kitchen refuse in a continuous stirred tank reactor (CSTR)** Proceedings of the 7th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems in Mexico, March 7-10, 2006
13. WEISZ, Helga; STEINBERGER, Julia K. **Reducing energy and material flows in cities**. Potsdam, Alemanha. Elsevier B.V. 2010.
14. WOLMAN, A. **The metabolism of cities**. Scientific American 213: 179-190. 1965