

**MODELAGEM DA DEMANDA POR MÉDICOS NOS MUNICÍPIOS MINEIROS:  
ESTIMATIVAS CONJUNTAS AO PROGRAMA SAÚDE DA FAMÍLIA INTEGRADAS NO  
SISTEMA *VENSIM*.**

**Paulo Eduardo Alves Borges da Silva**

(Mestre em Modelagem de Sistemas Ambientais. IGC-UFMG / CEFET-MG)

**Ricardo Alexandrino Garcia**

(Professor Adjunto do Instituto de Geociências - UFMG)

**Resumo**

Este trabalho apresenta uma fundamentação teórico-metodológica, que envolve a definição de técnicas para a modelagem da demanda futura por médicos dos municípios mineiros. Tal previsibilidade se conecta e justifica também a uma projeção populacional, ambas no sistema *Vensim*. O modelo se adequa como um input de sistematização, complementando um estudo de previsão de atenção básica em saúde para o ano de 2020 no que tange o número de profissionais alocados no Programa de Saúde do Governo Federal. Observou-se, além dos resultados satisfatórios, uma estruturação e descrição sistêmica para alcançar um contingente de profissionais médicos contribuindo para novas discussões.

**Palavras-Chave:** Modelagem; População; Médicos; PSF; *Vensim*.

**Área Temática:** 4. Políticas Públicas.

## 1. Introdução

O setor da saúde é um dos maiores empregadores em todos os países e possui grande proporção no orçamento dos cuidados médicos para a sociedade (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002). Segundo a Organização Internacional do Trabalho, em 2002, aproximadamente 35 milhões de pessoas no mundo eram trabalhadores da área da saúde. Outro aspecto importante é o aumento, nos últimos anos, da formação de profissionais de saúde em geral, com o início do funcionamento de novos cursos e ampliação das vagas acadêmicas. Esse fenômeno não está restrito somente aos médicos, já que algumas outras profissões tiveram crescimento ainda maior. O que merece profundo estudo é a possibilidade deste crescimento refletir em uma resposta a uma demanda real por profissionais de saúde ou se há a indução por outras causas (ENSP e EPSJV, 2004).

A necessidade de integração entre os vários setores que compõe o sistema de saúde é um ponto importante a se considerar na administração, especialmente na alocação temporal e espacial de Recursos Humanos de Saúde. Por fim, em se tratando de um sistema em que, tem as partes correlacionadas, o conhecimento das inter-relações entre os diversos recursos e setores é de suma importância para um funcionamento adequado dos serviços no atendimento das necessidades da população (OLIVEIRA, 2007).

Este trabalho está inserido na pesquisa “Planejamento de força de trabalho em atenção primária a partir de necessidades da comunidade – *Projeto Consortium*”. A finalidade aqui proposta é apresentar uma fundamentação teórico-metodológica, que envolve a descrição e definição de técnicas e parâmetros para a modelagem da demanda futura por médicos dos municípios do Estado de Minas Gerais.

Os potenciais resultados de previsibilidade se adequarão como um *input* de uma ampla sistematização, ou seja, complementarão um modelo global de previsão de atenção básica em saúde para o ano de 2020 no que tange o número de profissionais alocados no Programa de Saúde do Governo Federal. Dessa maneira, o contingente a ser estimado de profissionais ocupados na categoria de médicos contribuirá diretamente para os objetivos do referido projeto.

Assim, reforça-se numa maior amplitude, a preocupação com o planejamento, ao passo que a distribuição de serviços ótimos deve acompanhar as alterações frequentes na sociedade.

## 2. Estimativas do número de profissionais e do contingente populacional do Estado

Assim, reforça-se a adequação do sistema de saúde à realidade social, ou seja, a distribuição da atenção básica deve alcançar as demandas de uma população, de forma que haja atendimento equânime. E no caso específico desta pesquisa, já que a tendência demográfica pode ser projetada, a amplitude de profissionais também deve ser predita, de modo que a própria população forneça a massa profissional, números os quais são passíveis de aquisição e conectividade num sistema dinâmico.

Projetar a população significa antever a evolução futura da interação entre as três principais variáveis demográficas e, como a evolução de cada uma destas depende de um conjunto de fatores e determinantes complexos, a projeção é sempre delicada em termos de análise. Os níveis e padrões observados para posterior replicação dependem, em última instância, dos valores e ações de indivíduos, cujas variações podem ser menos previsíveis, como é o caso da migração (MARTINE & LIMA, 1989).

Deste modo, as projeções populacionais permitem a elaboração de estudos preditivos de demandas por serviços. Por exemplo: previsão de estoque habitacional, quantidade de vagas necessárias na rede de ensino, fornecimento de energia e/ou água, capacidade de produção de alimentos, distribuição, dentre outros. Uma de suas potencialidades é a capacidade de diferenciação

entre determinados segmentos populacionais (como estimativas exclusivas para crianças ou idosos), contribuindo para a formulação de políticas específicas. No setor privado, podem auxiliar no esboço orçamentário de mercados.

No caso deste trabalho, as projeções populacionais oferecerão estimativas para a hipotetização de demanda futura em atenção básica no serviço de saúde. A sociedade -enquanto sistema - demanda o uso de atendimento médico básico. Esses serviços têm previsão de assistência pelo PSF (Programa Saúde da Família), que por sua vez, necessita de profissionais cada vez mais qualificados e interessados em contribuir para o desenvolvimento do país. Por conseguinte, mensurar o efetivo de trabalho necessário com uma visão *à posteriori* possibilitaria uma melhor aplicação de recursos financeiros e humanos no setor.

O esforço em elaborar um sistema capaz de prever o estoque profissional de médicos inseridos tanto num contexto geral, quanto no programa federal de atenção básica, permite que sejam criados novos pontos de observação, planejamento e destinação de recursos, no campo da formação e/ou continuidade satisfatória do Programa.

A capacidade de estimar um número absoluto de profissionais médicos (*strictu sensu*) por municípios em determinado estado é possibilitada pela observação e integração de dados recentes que envolvam o contingente advindo da formação acadêmica; o déficit percentual oriundo da população; as ocupações médicas; entrada (adesão) e saída no PSF e a elaboração de taxas referentes a estas variáveis.

### 3. Vensim e a Modelagem de Sistemas

Vensim é uma ferramenta de modelagem visual que permite o desenvolvimento, simulação e análise de modelos de sistemas dinâmicos. Foi desenvolvida como um meio de aprendizagem da Dinâmica de Sistemas e fornece um modo simples de construção de modelos de simulação a partir de diagramas causais ou diagramas de fluxo. Nesse sentido, há um editor de equações que cria as relações matemáticas entre os diferentes fluxos de dados (MODELSCIENCIAS, 2011).

Um aspecto marcante é a sua correlação temporal e poder de controle sobre os parâmetros do modelo. Outro fator marcante é a possibilidade de criação de modelos complexos, com retroalimentação e *feedback*, ou seja, a capacidade do operador de fomentar os fluxos com caráter positivo ou negativo.

Além de ser um instrumento de aprendizagem, o Vensim tem sido objeto que pauta análises de comportamento de sistemas de naturezas diferenciadas, pois é capaz de integrar dados alfanuméricos externos, a partir de planilhas e/ou arquivos de banco de dados. Com isso, sua aplicação se expande consideravelmente e, os resultados de pesquisas preditivas, seja em âmbito acadêmico ou não, tem sido satisfatórios. Entretanto, para construir um modelo ou operá-lo, é necessário ter conhecimento sobre os conceitos de sistemas dinâmicos, sejam eles complexos ou não.

No caso específico deste trabalho, a complexidade de elaboração de sistemas que abarcam a sociedade e sua dinâmica econômico-demográfica lança desafios para a modelagem, uma vez que a incorporação da dimensão humana gera conflitos passíveis de discussão no que diz respeito às expressividades matemáticas. As críticas estão relacionadas uma vez que as relações sociais apresentam padrões heterogêneos de distribuição e em distintas escalas, seja nas atividades produtivas ou aspectos populacionais, o que poderia trazer respostas inadequadas da realidade.

Entretanto, a reprodução de simulações e/ou representatividade de aspectos da sociedade em sistemas se dá em função de padrões. Um dado comportamento deve ser analisado em detalhes, considerando os fatores tempo e escala, com suporte estatístico, para se estabelecer arquétipos e, posteriormente, replicar os resultados em conformidade aos moldes previamente adquiridos.

Outro ponto de vista favorável à aplicação de “modelos sociais” é a visão de que estes são estruturas simplificadas da realidade, que supostamente apresentam, de maneira generalizada, características ou relações importantes (HAGGETT & CHORLEY, 1975). São aproximações

subjetivas, pois não incluem todas as observações ou medidas associadas. Porém, revelam detalhes acidentais e permitem elucidar quais aspectos são fundamentais (CHRISTOFOLETTI, 1999) naquela relação descrita e qual o comportamento dos mesmos em um dado espaço de tempo. Para os freqüentes objetos de estudo no âmbito demográfico, esta identificação torna-se de grande valia.

Contudo, mesmo que se tenha debatido e enfatizado a acuidade das dimensões humanas e sua incorporação em modelos – através de uma representação quantitativa – é um assunto ainda a ser mais bem trabalhado. À *priori*, tal fato se deve à ausência de análise numérica apurada nas observações de vários cientistas sociais (o que seria fundamental para a construção de modelos computacionais) e também pela complexidade dos sistemas socioeconômicos, “*ainda além da nossa fronteira de equacionamento matemático*” (BARROW, 1998 *apud* SOARES-FILHO *et al*, 2008, p.3).

### 3.1 Dinâmica socioeconômica e Sistemas

Como observado por Bragança & Figueiredo (1982), a atividade de modelagem econômico-demográfica tem como objetivos principais contribuir para um melhor entendimento das múltiplas relações entre os fenômenos pertinentes a essas duas áreas e fornecer elementos que embasam uma avaliação global dos efeitos que resultariam da adoção de determinada política populacional voltada ao desenvolvimento econômico e social.

Trabalhos como o de Garcia *et al* (2007) e Soares-Filho *et al* (2008) revelam possibilidades além das formulações de políticas estritamente sociais, uma vez que puderam ser obtidas respostas da relação homem-natureza, através de resultados expressivos de ocupação sobre a cobertura terrestre, evidenciada por expansões demográficas e taxas de desmatamento. Ou seja, as ações antrópicas em detrimento do meio natural também podem ser sistematizadas e, inclusive, servir como norteador de programas ambientais.

O dinamismo evidenciado nas relações do homem é tido como ponto crucial para a elaboração de um simples modelo conceitual (desenho) e unidade complicadora nos métodos de parametrização, validação e discretização do sistema. Há de se observar o comportamento individual das variáveis num dado momento e, conjuntamente, ao se elaborar uma proposta de maior abrangência.

O fator tempo está intrínseco às aplicações de modelos dinâmicos, visto que dão o suporte de escala na história de quando ocorreram os fatos ou em que época foi considerado tal estudo. Além deste, o espaço vem a ser objeto de grande importância nas relações humanas, pois há de se identificar onde ocorrem as alterações, quais as interferências dessas mudanças para o entorno, dentre outras questões, o que exalta a particularidade geográfica da modelagem de sistemas. Para o tema aqui proposto, ressalta-se a associação dos modelos que consigam captar as questões demográficas e espaciais (TI-YAN *et al*, 2007), mesmo que isso os torne cada vez mais complexos.

### 3.2 Modelos Complexos

Segundo Christofolletti (1999), os sistemas complexos possuem componentes de alta interação formando um grupo de natureza organizada, com alto grau de regularidade, muito embora a participação humana aumente a complexidade destes.

Para Newton (2009), complexidade dinâmica é uma característica que transcursa do fato de que em sistemas que a exibem, encontram-se distintos agentes que replicam a informações exógenas ou causadas pela própria atuação do sistema, e assim, podendo responder de forma não pretendida pelos agentes que tentam influir sobre eles. Ou seja, o sistema pode se auto-organizar. Todavia, para lidar com esse caráter não-controlador, o mesmo autor admite que “*processos extremamente complexos podem muitas vezes ser explicados por modelos dinâmicos simples em*

*termos de detalhes, uma vez que os principais ciclos de feedback envolvidos sejam identificados”* (NEWTON, P. 2009, p. 1).

No caso das interações que um sistema econômico-demográfico pode realizar entre e dentre seus componentes, conforme levantado por Berger (2008), os modelos baseados em agentes têm-se revelado uma alternativa bastante promissora no estudo de sistemas complexos onde a grande quantidade de variáveis dinâmicas e interagentes, tornam impraticável o uso de técnicas puramente analíticas para a sua abordagem.

### **3.3 Sistemas e a demanda por Médicos**

Os principais fatores e fluxos que influenciam o estoque de médicos podem ser divididos em dois grupos: o da oferta ou entrada de profissionais no sistema, e o da saída. O ideal seria o equilíbrio mantido entre a oferta e a demanda de profissionais de saúde. Do lado da oferta, as escolas médicas e os programas de residência médica são os principais fornecedores de mão de obra, contribuindo sempre com um fluxo positivo em relação ao estoque. Como exemplo de números da realidade brasileira, no período de 1995 a 2003, ocorreu um aumento da oferta de cursos de graduação em medicina de 47%, com maior contribuição do setor privado para este crescimento (PIERANTONI, FRANÇA e VARELLA, 2006).

As migrações podem contribuir com um fluxo positivo ou negativo em relação ao estoque. A migração interna parece ter importância para a realidade brasileira, pela concentração das escolas médicas nas regiões sudeste e sul, embora também seja citada na literatura como um problema para vários países. O seu papel na composição dos estoques regionais necessita de mais pesquisas para ser mais bem entendido. A migração internacional tem peso variável de acordo com o país em questão, e parece não ser muito importante no Brasil, diferentemente de outros países, onde pode ter peso expressivo na composição do estoque de médicos. Segundo CESA e LARENTE, 2004, o Canadá necessitaria de 500 médicos graduados no Exterior, por ano, para compensar o déficit previsto desses profissionais, mesmo considerando as alterações da formação dentro das escolas médicas do País com o objetivo de diminuir esse déficit. POND e MCPAKE, 2006, referem que os países menos desenvolvidos, especialmente na África, sofrem mais com o problema da saída dos profissionais de saúde para países mais ricos.

No lado da saída de profissionais do sistema estão a aposentadoria, o falecimento de profissionais ainda em atividade e o desvio de função. É importante citar que o envelhecimento das populações, que ocorre no mundo todo, também tem efeito sobre a população dos profissionais de saúde, fazendo com que a idade média desses trabalhadores também aumente. Outro ponto que merece mais pesquisas é o estudo das conseqüências sobre o estoque de médicos e outros profissionais de saúde das alterações das regras para aposentadoria, com aumento da idade mínima e limitação de valores.

### **3.4 Mensuração da Força de Trabalho**

Os ciclos contínuos de oferta aumentada ou diminuída de recursos refletem o desajuste dos métodos de projeção para a estimativa das necessidades futuras desses profissionais para atender as expansões do mercado de trabalho em saúde, e/ou na falha em se considerar suas convergências. Adiciona que a previsão pondera uma gama de metodologias utilizadas para prever os requerimentos de serviços e o número de profissionais necessário para prover esses serviços (O'BRIEN-PALLAS, 2002).

BASU e GUPTA, 2005, revelam que as dificuldades na elaboração de modelos de previsão vêm de vários fatores como a organização dos sistemas de saúde (como os serviços são levados à população), seus objetivos (que serviços são oferecidos) e a inexistência de um método objetivo, baseado na carga de trabalho, para estimar a demanda.

A abordagem de oferta/utilização é fundamentada na determinação das necessidades baseada no cálculo do quantitativo de pessoal requerido para atender populações futuras da mesma forma que a população atual. A provisão de serviços à população é ajustada de acordo com as mudanças demográficas esperadas na mesma população. “Nesse processo são utilizadas informações sobre o estoque atual, formação, aposentadorias, treinamento e demografia da força de trabalho considerada.

As estimativas não refletiriam as necessidades e nem a demanda por RHS, mas projetariam o *status quo*” (OLIVEIRA, 2007). As abordagens baseadas em demanda se apóiam no cálculo dos requerimentos pelos serviços de populações futuras em termos de custo-efetividade de quantidade e tipos de serviços que os profissionais de saúde acreditam que a população venha a necessitar. Os requerimentos de recursos são quantificados baseados na determinação da “carga de doença” da população. Esse método se provou efetivo em muitas medidas de saúde pública, mas por outro lado tendem a produzir estimativas de demanda de Recursos que excedem os limites práticos. A determinação da demanda é baseada no que o público consumidor realmente deseja. Envolve o estabelecimento de objetivos para a prestação de serviços de saúde.

Os requerimentos são ligados à conseqüente variação do volume e complexidade dos serviços. As abordagens econométricas estimam o número de pessoal requerido pelo sistema de saúde no contexto das restrições atuais e futuras. Baseia-se na determinação de que preço, através de impostos, pagamento direto ou arranjos de seguro de saúde variados, as pessoas desejam pagar pelos serviços. Tanto as necessidades atendidas quanto as não atendidas são incluídas nesse contexto. Tenta responder a questão de quais serviços são tecnicamente possíveis. No modelo macro econômico os componentes do sistema de saúde, são avaliados no contexto do sistema econômico e do mercado de trabalho como um todo. Alguns de seus aspectos têm ganhado popularidade na literatura sobre previsão de Recursos nas últimas três décadas.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo Geral**

Este estudo tem por objetivo apresentar uma síntese do embasamento teórico, metodológico e alguns resultados de um Modelo de cálculo da Demanda futura de Profissionais (médicos) ligados ao Programa Saúde da Família para os municípios mineiros, posto o ano de 2020. Além disso, cabe aqui apresentar a inserção de variáveis adequadas num sistema dinâmico, bem como sua conectividade a um Modelo Demográfico.

### **4.2 Objetivos Específicos**

Além dos métodos aplicados para a elaboração do modelo de demanda profissional, foram perseguidos os seguintes objetivos específicos:

- Aquisição de dados relativos aos profissionais envolvidos no Programa Saúde da Família para o estado de Minas Gerais
- Mapeamento e análise da conjuntura de profissionais inseridos no PSF. Distribuição espaço-temporal entre 2010 a 2020.
- Contribuir para a discussão do uso da modelagem como objeto de amparo à tomada de decisões no planejamento de recursos de saúde do país.

## 5. Procedimentos Metodológicos

### 5.1 A aquisição de dados

Os Cadernos de Informação de Saúde possuem índices obtidos a partir de bancos de dados de todos os sistemas do Ministério da Saúde. Tais informações são agregadas em uma base e disponibilizadas em planilhas pelo DATASUS. Podem ser obtidas em nível municipal e/ou Unidade da Federação e agrupadas em categorias. No Modelo de Demanda Profissional de médicos esta foi a única e principal fonte. Para o Modelo Demográfico, um Banco de Informações numéricas foi construído a partir de dados fornecidos pelo IBGE (Populacionais Totais e Migração) e DATASUS (Natalidade e Mortalidade). Para todas as componentes demográficas, os níveis de análise envolveram os municípios, a unidade da federação e o resto do Brasil.

Um dos fatores de maior relevância para a realização deste trabalho com índices atualizados foi a disponibilidade de dados preliminares do Censo 2010, o qual já fornece valores das populações municipais totais e por sexo. Desta maneira, o ano-base do modelo foi definido por 2005, uma vez que pelo método de extrapolação e ponderação de quinquênios, puderam-se obter os valores médios do período 2000 - 2010 (Censos Demográficos). O mesmo procedimento foi adotado para os estoques populacionais e taxas de migração (bruta de emigração e imigração relativa).

Quanto às informações do DATASUS, os nascimentos e óbitos são fornecidos, anualmente, desde 1996 a 2008, o que compõe uma base satisfatória de dados, diante das técnicas de extração e ajuste de taxas a serem utilizadas. À exceção da população total municipal, mortes e nascimentos, tanto nos valores globais quanto para a integração no modelo, optou-se por trabalhar com taxas. Para tanto, uma série de funções específicas de definição foi explorada e aplicada no contexto.

### 5.2 Variáveis do Modelo de Demanda futura por Médicos no PSF

A fonte de dados que embasou a construção das variáveis do modelo de demanda futura por médicos no Programa Saúde da Família (PSF) foi Caderno de Informações de Saúde (CSI). Disponibilizado pelo *Datasus*, esse caderno fornece indicadores básicos sobre o sistema de saúde brasileiro na forma de gráficos e tabelas. Os indicadores estão agrupados em 14 categorias: identificação, demografia, saneamento, rede ambulatorial, rede hospitalar, assistência ambulatorial, assistência hospitalar, morbidade hospitalar, nascimentos, mortalidade, imunizações, atenção básica, pagamento e transferências, orçamentos públicos. Os indicadores podem ser obtidos por município e Unidades da Federação (Tabela 1 - Amostra).

A primeira variável de input do modelo é *Taxa Inicial Ocupações Médicas* ( $TOM_J^i$ ), que é dada pela relação entre o total de ocupações médicas municipal e a população total da localidade. Nesse caso, considerou-se a taxa observada em 2009, por tratar-se da única disponível; a segunda variável diz respeito à *Taxa de Ocupações Médicas no programa Saúde da Família* ( $TOMF_J^i$ ), que foi calculada de modo análogo à anterior. A fórmula geral dessas variáveis é dada por:

$$TOM_J^i = \frac{OM_J^i}{P_J^t}$$

em que  $OM_J^i$  é a ocupação médica na especialidade  $a$  na localidade  $J$  e  $P_J^t$  é a população estimada para o meio do ano  $t$  na mesma localidade  $J$ .

O CIS fornece o total da população atendida pelo PSF em todos os municípios brasileiros. Os dados agregados para o país como um todo revelam que no ano de 2009, havia um total de 843,1

mil ocupações médicas, dessas apenas 35,4 mil estavam vinculadas ao PSF e que esse contingente atendia aproximadamente 50% da população.

Essas informações permitiram a elaboração da principal questão sobre a evolução da demanda futura por ocupações médicas no PSF: dado o nível de adesão e a capacidade agregada atual do programa em atender a população brasileira, qual o número de ocupações médicas totais e o número de ocupações médias no PSF capazes de zerar o déficit de atendimento até 2020? Fica latente que a resposta a essa pergunta está na relação entre a evolução da taxa de ocupações médicas totais, a evolução da taxa de ocupações médicas no PSF e a capacidade de atendimento do programa, sob o pressuposto de um comportamento logístico, formalmente:

$$TOM_J^t = \frac{TOM_J^i / TOMF_J^i c - TOM_J^i}{1 + e^{-w(t-k)}}$$

em que  $TOM_J^t$  é a taxa de ocupação médica total no ano  $t$ , na localidade  $J$ ,  $c$  é o inverso da capacidade de atendimento médio de um médico no PSF, observada em 2009,  $w$  é a velocidade do incremento da  $TOM_J^t$  e  $k$  é o ano de inflexão da evolução da  $TOM_J^t$ . Os respectivos valores de  $c$ ,  $w$ , e  $k$ , adotados pelo modelo, foram 0.00037037, 0.5 e 2013.

Uma vez estimada a evolução das taxas de ocupação médicas totais, o próximo passo foi o cálculo do **número de ocupações médicas totais** ( $OM_J^i$ ) em cada ano. Esses valores foram obtidos pela multiplicação entre os valores das  $TOM_J^t$  e as estimativas da população residente; já o número de ocupações médicas no PSF ( $OMF_J^i$ ), em cada ano, foi obtido pela multiplicação entre o valor da  $OM_J^t$  e taxas de adesão ( $TA_J^t$ ) ao Programa que, neste caso, foram mantidas constantes e iguais às observadas em 2009:

$$OM_J^t = P_J^t TOM_J^t$$

e

$$OMF_J^t = OM_J^t TA_J^t$$

Por fim, o **déficit anual de médicos** no PSF foi calculado pela diferença entre o inverso da capacidade de atendimento médio de um médico no PSF e a razão entre o número de médicos no PSF e a População residente:

$$Deficit_J^t = 100(c - OMF_J^t / P_J^t)$$

**Tabela 1: Amostra de Dados Municipais Coletados e processados para o Modelo.**

Município	Nome	Méd_Fam	POP09	MedF/Pop	Médicos	Med/Pop	Taxa de adesão ao PSF	PopAtend
310010	Abadia dos Dourados	2	6805	0,0003	47	0,0069	0,0426	5363
310020	Abaeté	5	23251	0,0002	96	0,0041	0,0521	19203
310030	Abre Campo	7	13180	0,0005	34	0,0026	0,2059	12369
310040	Acaiaca	2	4247	0,0005	5	0,0012	0,4000	4225
310050	Açucena	6	11409	0,0005	9	0,0008	0,6667	9496
310060	Água Boa	5	16643	0,0003	11	0,0007	0,4545	14177
310070	Água Comprida	1	2157	0,0005	8	0,0037	0,1250	2036
310080	Aguanil	2	4326	0,0005	3	0,0007	0,6667	3873
310090	Águas Formosas	5	19306	0,0003	33	0,0017	0,1515	0
310100	Águas Vermelhas	4	13300	0,0003	38	0,0029	0,1053	12185
310110	Aimorés	8	24825	0,0003	69	0,0028	0,1159	20703



## 5.3 Variáveis do Modelo Demográfico

### 5.3.1 Taxas brutas de Mortalidade e Natalidade

A taxa bruta de mortalidade é o número total de óbitos, por mil habitantes, na população residente em determinado espaço geográfico e expressa a intensidade com a qual a mortalidade atua sobre uma determinada população. É influenciada pela estrutura da população quanto à idade e ao sexo, sendo que taxas elevadas podem estar associadas a baixas condições socioeconômicas ou refletir elevada proporção de pessoas idosas na população total. As taxas brutas de mortalidade padronizadas permitem a comparação temporal e entre regiões.

Permite analisar variações geográficas e temporais da mortalidade e possibilita o cálculo do crescimento vegetativo ou natural da população, subtraindo-se, da taxa bruta de natalidade, a taxa bruta de mortalidade. Além disso, é um índice que contribui para estimar o componente migratório da variação demográfica, correlacionando-se o crescimento vegetativo com o crescimento total da população (DATASUS, 2010).

**Função-geral:**

$$\frac{\text{Número total de óbitos de residentes}}{\text{População total residente}} \times 1.000$$

O número de nascidos vivos, por mil habitantes, na população residente em determinado espaço geográfico, no ano considerado é a definição da taxa bruta de natalidade. Ela expressa a intensidade com a qual a natalidade atua sobre uma determinada população, também sendo influenciada pela estrutura da população, quanto à idade e sexo.

Este indicador atua paralelamente a outras operações demográficas, assim como a TBM. No entanto, algumas limitações desta taxa devem ser enaltecidas. Devido à subnumeração de nascidos vivos, o uso de dados derivados de sistemas de registro contínuo está condicionado a correções, freqüente em áreas menos desenvolvidas. Outro fator é a base de dados demográficos utilizada para o cálculo do indicador pode apresentar imprecisões inerentes à coleta de dados ou à metodologia empregada para elaborar estimativas populacionais.

Para comparar taxas entre populações de composição etária distinta, recomenda-se a prévia padronização de suas estruturas. As taxas padronizadas devem ser utilizadas apenas para análises comparativas (DATASUS, 2010).

**Função-geral:**

$$\frac{\text{Número total de nascidos vivos residentes}}{\text{População total residente}} \times 1.000$$

Tendo os dados de mortes e nascimentos (DATASUS) para a série 1996 – 2008, assumiu-se para uma posterior verificação, os óbitos como verdadeiros. Assim, calculou-se a taxa fixa de variação anual, quando foi considerada a mesma para todos os anos, de 2005 a 2019. À *posteriori*, o mesmo foi realizado com os nascimentos, de modo que houvesse um ajuste linear com as projeções do IBGE e onde as taxas variaram quinquenalmente. A partir das Tabelas 2 e 3, pode-se observar o comportamento destas taxas no banco de dados.

**Tabela 2: Taxa Bruta de Mortalidade – Amostra do Banco de Dados. Estimativas 2005 – 2019.**

Codigo	Município	Anos														
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
310010	Abadia dos Dourados	0,0068784	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878	0,006878
310020	Abaeté	0,0077296	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773	0,00773
310030	Abre Campo	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941	0,007941
310040	Acaiaca	0,0076006	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601	0,007601
310050	Açucena	0,0062273	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227	0,006227
310060	Água Boa	0,0052343	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234	0,005234
310070	Água Comprida	0,0059166	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917	0,005917
310080	Aguanil	0,0068981	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898	0,006898
310090	Águas Formosas	0,0066696	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667	0,00667

**Fonte: Manipulação de dados DATASUS / IBGE. Elaboração própria.**

**Tabela 3: Taxa Bruta de Natalidade – Amostra do Banco de Dados. Estimativas 2005 – 2019.**

Codigo	Município	Anos														
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
310010	Abadia dos Dourados	0,013452	0,013452	0,013452	0,013452	0,013452	0,011873	0,011873	0,011873	0,011873	0,011873	0,010525	0,010525	0,010525	0,010525	0,010525
310020	Abaeté	0,014183	0,014183	0,014183	0,014183	0,014183	0,013586	0,013586	0,013586	0,013586	0,013586	0,013065	0,013065	0,013065	0,013065	0,013065
310030	Abre Campo	0,01663	0,01663	0,01663	0,01663	0,01663	0,012153	0,012153	0,012153	0,012153	0,012153	0,011352	0,011352	0,011352	0,011352	0,011352
310040	Acaiaca	0,015068	0,015068	0,015068	0,015068	0,015068	0,014715	0,014715	0,014715	0,014715	0,014715	0,014405	0,014405	0,014405	0,014405	0,014405
310050	Açucena	0,013026	0,013026	0,013026	0,013026	0,013026	0,019156	0,019156	0,019156	0,019156	0,019156	0,019156	0,019156	0,019156	0,019156	0,019156
310060	Água Boa	0,015789	0,015789	0,015789	0,015789	0,015789	0,026718	0,026718	0,026718	0,026718	0,026718	0,026718	0,026718	0,026718	0,026718	0,026718
310070	Água Comprida	0,008338	0,008338	0,008338	0,008338	0,008338	0,007079	0,007079	0,007079	0,007079	0,007079	0,007079	0,007079	0,007079	0,007079	0,007079
310080	Aguanil	0,009639	0,009639	0,009639	0,009639	0,009639	0,004184	0,004184	0,004184	0,004184	0,004184	0,004184	0,004184	0,004184	0,004184	0,004184
310090	Águas Formosas	0,019402	0,019402	0,019402	0,019402	0,019402	0,017995	0,017995	0,017995	0,017995	0,017995	0,017995	0,017995	0,017995	0,017995	0,017995

**Fonte: Manipulação de dados DATASUS / IBGE. Elaboração própria.**

A corroboração dos valores totais absolutos municipais envolveu cálculos triviais na matriz de dados, onde o número de óbitos e/ou nascimentos se dá pela multiplicação da população em determinado ano pela sua respectiva taxa bruta.

### 5.3.2 Taxas de Emigração e Imigração

Foram reunidos os contingentes de migrantes nos fluxos de entrada e saída, sendo calculadas as taxas, a partir dos Censos de 1991 – 2000 – 2010 com valores quinquenais (meio do período) e, posteriormente anuais, sem variação (fixos). Assim, procurou-se estabelecer pesos no intervalo 1995 – 2000, que foram replicados para todos os municípios, levando em consideração os valores absolutos e confrontados com o somatório de estado e país. Dessa maneira, visualiza-se uma matriz de origem-destino com 854 membros, o que confere e confronta todos os municípios mineiros, mais o resto do Brasil.

Um outro caminho poder-se-ia seguir para a determinação dessas variáveis. Uma vez obtidas as médias das taxas brutas de natalidade e mortalidade, seria possível calcular o crescimento vegetativo (TCV) dos 853 municípios, durante a década de 90, segundo a equação:

$$TCV_J^m = TBN_J^m - TBM_J^m$$

Com isso, uma *proxy* da taxa líquida de migração (TM) poderia ser calculada pela subtração entre a taxa de crescimento total (TCT) e a Taxa de Crescimento Vegetativa:

$$TM_J^m = TCT_J^m - TCV_J^m$$

Por fim, a taxa de emigração seria obtida através do ajuste entre as taxas líquidas de migração provenientes diretamente dos dados Censo Demográfico de 2000 e TM's calculadas pelo procedimento citado, com base nas populações esperadas, fechada à migração, no final do período de referência, de modo que:

$$\bar{P}_J^A = P_J^{A-X} (1 + TCV_J^m)^X$$

para  $X = 0, 1, 2, 3$  e  $4$ .

$$\bar{P}_J^A = P_J^A + E_J^{d.f.} - I_J^{d.f.}$$

em que  $\bar{P}_J^A$  é a população, no ano  $A$  ( $A = 2000$ ), esperada fechada à migração, da localidade  $J$ ;  $E_J^{d.f.}$  e  $I_J^{d.f.}$  são, respectivamente, os emigrantes e imigrantes de data-fixa do Censo Demográfico de 2000, somados seus efeitos indiretos.

Uma vez corrigido o número total de emigrantes, do período 1995/2000, dos municípios e UF deste estudo, bastaria calcular a taxa anual de emigração, de acordo com a equação:

$$TE_J^a = \left( \frac{\bar{P}_J^A - E_J^a}{P_J^{A-5}} \right)^{1/5} - 1 \quad \text{em que } TE_J^a \text{ é a taxa anual de emigração, do período 1995-2000, das localidades } J.$$

Na arquitetura do modelo dinâmico, foi incluída outra variável: **Emigração Total**. Esta é a responsável por tornar o sistema retroalimentado e conceitualmente justificado, quando, há um *input* que influencia diretamente na Imigração, pois representa o “servidor” de contingente dado por todos os outros municípios, exceto o de análise. Sua função específica é dada por:

<b>Emigração Total = SUM(Emigração[Mun!])</b>
---

#### 5.4 Contagem da População 2007 e ajustes

A divulgação das informações da Contagem de 2007 (IBGE, 2007) revelou, entre outras coisas, o quão errôneas estavam as estimativas da evolução da população brasileiras nas mais diversos níveis, sejam eles municipal, estadual ou nacional. No agregado, as estimativas para o total da população brasileira, segundo o IBGE (IBGE 2004), em 2007 seria de aproximadamente 189 milhões de pessoas, número esse muito superior ao o da contagem, que foi de 183,9 milhões. Tal fato coloca a necessidade de se corrigir as estimativas da projeção oficial do IBGE para a população brasileira a partir de 2000.

Dentre as várias alternativas, a mais simples seria uma correção das taxas de crescimento e a mais sofisticada seria a elaboração de uma nova projeção pelo método das componentes demográficas. Como a aplicação do método das componentes foge, e muito, aos interesses desse projeto, pois se está objetivando apenas a população total e não sua distribuição etária, optou-se por

recalcular as estimativas populacionais da projeção do IBGE, com base na correção das taxas de crescimento populacional, por sexo, estimadas para os diversos decênios considerados.

Nesse sentido, a Tabela 4 relata as estimativas da população brasileira, por sexo, para os anos de 2000, 2010, 2020 e 2030, bem como a Tabela 5 traz as taxas anuais de crescimento populacional para os três decênios.

**Tabela 4: Brasil: 2000-2030. Estimativas populacionais por sexo – anos selecionados.**

Ano	ESTIMATIVAS POPULACIONAIS		
	Homens	Mulheres	Total
2000	84 350 720	86 929 162	171 279 882
2010	96 611 841	100 222 245	196 834 086
2020	107 253 243	111 824 486	219 077 729
2030	116 169 452	121 568 224	237 737 676

**Fonte: IBGE/Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade para o Período 1980-2050 - Revisão 2004.**

**Tabela 5: Brasil: 2000-2030. Taxas anuais de crescimento populacional por sexo - anos selecionados**

TAXA ANUAL DE CRESCIMENTO POPULACIONAL			
Decênio	Homens	Mulheres	Total
2000 - 2010	0,014	0,014	0,014
2010 - 2020	0,011	0,011	0,011
2020 - 2030	0,008	0,008	0,008

**Fonte: Tabela 4.**

Tal como pode ser observado na Tabela cinco, a taxa de crescimento da população total, estimada para o primeiro dos três decênios, foi 1,4% ao ano. A taxa de crescimento estimada com base nos dados da contagem de 2007 foi consideravelmente menor, 1,0% ao ano, assim como é informado pela Tabela 6; nessa, observa-se também que a razão entre as taxas foi de 0,734, que se constituiu no fator de correção das taxas decenais de crescimento. Como a Contagem 2007 não divulgou informações dos contingentes populacionais por sexo, não foi possível o cálculo de um fator de correção específico por sexo, o que seria de grande valia nesse tipo de procedimento.

**Tabela 6: Brasil: 2000-2010. Estimativas populacionais para 2007 e taxas anuais de crescimento populacional entre 2000-2007 e 2000-2010.**

ESTIMATIVAS POPULACIONAIS	
2007	
Brasil	183 987 291
TAXA ANUAL DE CRESCIMENTO POPULACIONAL	
período	Total
2000 - 2007	0,010
2000 - 2010	0,014
<b>Razão entre as taxas</b>	<b>0,734</b>

**Fonte: IBGE. Contagem da População de 2007 e Tabela 5.**

A correção das taxas de crescimento foi realizada, portanto, através da multiplicação do fator de correção - calculado pela razão das taxas de crescimento estimada no decênio 2000-2010, dada pela projeção do IBGE (2004) e pela fornecida pela contagem de 2007, para o período 200-2007 – pelas taxas decenais observadas na Tabela 5. As taxas decenais corrigidas é o que se informa na Tabela 7.

**Tabela 7: Brasil: 2000-2030. Taxas anuais corrigidas de crescimento populacional por sexo – anos selecionados.**

<b>TAXA ANUAL CORRIGIDA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL</b>			
<b>Decênio</b>	<b>Homens</b>	<b>Mulheres</b>	<b>Total</b>
2000 - 2010	0,010	0,011	0,010
2010 - 2020	0,008	0,008	0,008
2020 - 2030	0,006	0,006	0,006

**Fonte: Tabela 5 e 6.**

Com base nas novas taxas decenais de crescimento populacional, calculou-se novas estimativas para os anos de 2005, 2010, 2015 2020 2025 e 2030, Tal como pode ser observado na Tabela 8. Nota-se que com essas correções, o contingente populacional de 2030 contará com, aproximadamente, 10 milhões de pessoas a menos, ou seja, uma diferença maior do que a população de muitos Estados da Federação estava superestimada na projeção anterior.

**Tabela 8: Brasil: 2000-2030. Estimativas populacionais corrigidas por sexo – anos selecionados.**

<b>Ano</b>	<b>ESTIMATIVAS POPULACIONAIS</b>		
	<b>Homens</b>	<b>Mulheres</b>	<b>Total</b>
2000	84 350 720	86 929 162	171 279 882
2005	88 665 564	91 597 555	180 263 119
2010	93 201 128	96 516 656	189 717 785
2015	96 849 064	100 480 868	197 329 932
2020	100 639 782	104 607 900	205 247 682
2025	103 635 549	107 867 972	211 503 521
2030	106 720 492	111 229 642	217 950 134

**Fonte: Tabela 7.**

Ao informar as estimativas populacionais das Unidades da Federação, os dados da Contagem de 2007 indicaram a necessidade de se também recalcularem as projeções dessas localidades. Para tanto, seguiu-se um procedimento muito semelhante ao empregado no cálculo das correções das taxas de crescimento para o país como um todo. Entre 2000 e 2010, a estratégia foi exatamente a mesma, entretanto, a partir de 2010 as estimativas foram calculadas utilizando-se o método oficial do IBGE, o *AiBi*.

Uma vez recalculadas as estimativas da projeção da população brasileira, pode-se calcular uma nova projeção para o Estado de Minas Gerais, pelo método *AiBi*, e os resultados obtidos são o que consta da Tabela 9. Tal como ocorreu com a população do País, as estimativas projetadas divergiam daquelas divulgadas pela Contagem de 2007.

**Tabela 9: Minas Gerais: 2000-2030. Estimativas populacionais por sexo – anos selecionados.**

Ano	ESTIMATIVAS POPULACIONAIS		
	Homens	Mulheres	Total
1991	7 803 384	7 939 768	15 743 152
1995	8 252 985	8 411 142	16 664 127
2000	8 851 587	9 039 907	17 891 494
2005	9 286 090	9 494 257	18 780 347
2010	9 742 819	9 973 007	19 715 826
2015	10 110 164	10 358 823	20 468 987
2020	10 491 888	10 760 485	21 252 373
2025	10 793 560	11 077 771	21 871 331
2030	11 104 212	11 404 944	22 509 157

Fonte: Censos Demográficos de 1991 e 2000 e estimativas próprias, calculadas por meio do método AiBi, baseadas nos dados da Tabela 5.

Ao se observar os contingentes populacionais das Tabelas 9 e 10, percebe-se que o que foi estimado para 2010 é ligeiramente superior ao estimado pela Contagem em 2007 - 8,3 milhões contra 8,1 milhões, respectivamente. Isso revela a necessidade de se também corrigir as estimativas projetadas, por meio da aplicação de um fator de correção dado pela razão das taxas de crescimento indicado na Tabela 7. O fator de correção de 1,199 indica que a evolução da população estadual estava subestimada entorno de 20%.

**Tabela 10: Minas Gerais: 2000-2010. Estimativas populacionais para 2007 e Taxas anuais de crescimento populacional entre 2000 e 2007 e entre 2000 e 2010.**

TAXA ANUAL DE CRESCIMENTO POPULACIONAL			
Decênio	Homens	Mulheres	Total
2000 - 2010	0,010	0,010	0,010
População recenseada e estimada - Minas Gerais: 2000 e 2007			
Ano	ESTIMATIVAS POPULACIONAIS		
	Total		
2000	17 891 494		
2007	19 273 506		
TAXA ANUAL DE CRESCIMENTO POPULACIONAL			
período	Total		
2000 - 2007	0,011		
2000 - 2010	0,010		
<b>Razão entre as taxas</b>	<b>1,095</b>		
TAXA ANUAL CORRIGIDA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL			
Decênio	Homens	Mulheres	Total
2000 - 2010	0,011	0,011	0,011

Fonte: IBGE. Contagem da População de 2007 e Tabela 5.

Uma vez calculadas as novas taxas decenais de crescimento populacional entre 2000 e 2010, calculou-se estimativas corrigidas para os anos de 2005, 2010, já as estimativas para 2015, 2020, 2025 e 2030 foram calculadas empregando-se o método *AiBi*, Tal como pode ser observado na Tabela 11. Ao contrário do que ocorreu com o País essas correções fazem com que o contingente populacional do Estado, em 2030, conte com, aproximadamente, 400 mil pessoas a mais do que contaria com a estimativa da projeção anterior.

Tabela 11: Minas Gerais: 2000-2030. Estimativas populacionais corrigidas por sexo – anos selecionados.

Ano	ESTIMATIVAS POPULACIONAIS		
	Homens	Mulheres	Total
1995	8 252 985	8 411 142	16 664 127
2000	8 851 587	9 039 907	17 891 494
2005	9 328 814	9 539 281	18 868 095
2010	9 831 770	10 066 241	19 898 011
2015	10 236 295	10 490 908	20 727 203
2020	10 656 654	10 933 017	21 589 671
2025	10 988 860	11 282 253	22 271 113
2030	11 330 954	11 642 373	22 973 327

Fonte: Tabelas 9 e 10, estimativas próprias, calculadas por meio do método AiBi, baseadas nos dados da Tab. 8.

### 5.5 Validação do Crescimento da População Total dos Municípios

Os procedimentos expostos até aqui permitiram que se estimassem os parâmetros das equações de crescimento populacional para todas as 853 localidades consideradas, tal que suas populações, durante os anos do segundo quinquênio da década do ano 2000, pudesse ser calculada de acordo com as seguintes expressões:

$$\text{pop2010} = \text{pop2005} (1 + (\text{TbN} - \text{TBM} - \text{TBI}))^5 + \text{Em}$$

Essas equações são, na verdade, a versão discreta da equação de crescimento populacional que preconiza que o volume populacional de uma localidade, no final de um período, será igual ao seu volume inicial, menos óbitos, menos emigrantes, mais nascimentos, mais imigrantes - todos, relativos a esse mesmo período. Como todas as estimativas se referem a um período de um ano, optou-se por representar as equações de crescimento populacional em sua forma discreta (PRESTON, HEUVELINE & GUILLOT, 2001, p. 03-20). O resultado alcançado pela projeção populacional para 2010 em confronto com o contingente apontado pelo IBGE pode ser observado a partir do gráfico de dispersão a seguir (Figura 1), com expressividade estatística adequada, com *R* quadrado próximo de 1.

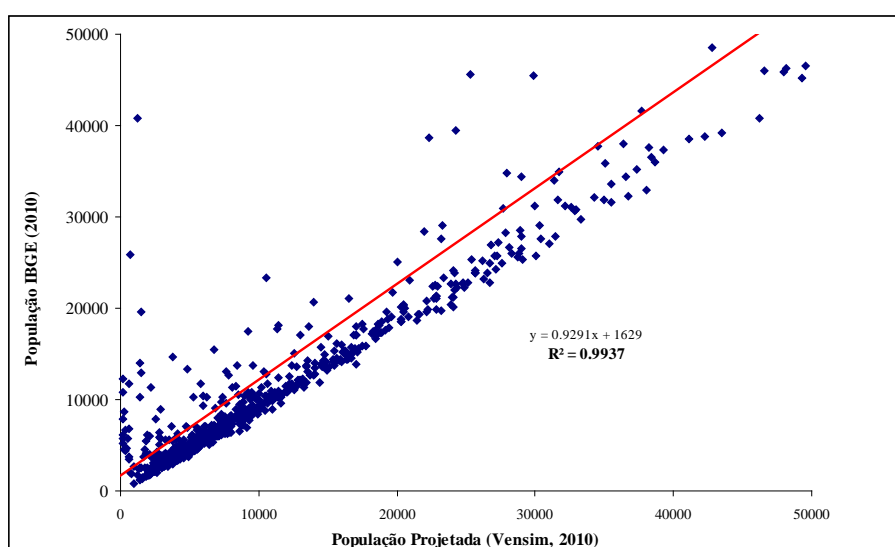


Figura 1: Gráfico de dispersão com a validação do Sistema de Dinâmica Demográfica dos municípios mineiros. População total projetada para 2010 (Vensim) versus população Censo 2010 (IBGE).

## 6. Modelos construídos e resultados

### 6.1 Modelo Demográfico

A arquitetura do Modelo envolveu os princípios básicos da dinâmica demográfica de uma população com *inputs* (nascimentos e imigrantes), *outputs* (mortes e emigrantes) e suas respectivas taxas, de modo que o sistema seja retroalimentado pela emigração total<sup>1</sup>.

A primeira configuração a se ajustar foi a escala de tempo de cálculo para o modelo, onde o ano inicial definido por 2005 e final, 2020, conforme os objetivos da Pesquisa. A população inicial é representada pelos valores individuais municipais do ano de 2005. Assim, o próximo passo era construir um sistema onde houvesse diálogo preciso entre os elementos e os cálculos matemáticos fossem realizados com o amparo de um banco de dados. O Modelo construído apresentou a seguinte configuração, conforme a Figura 2.

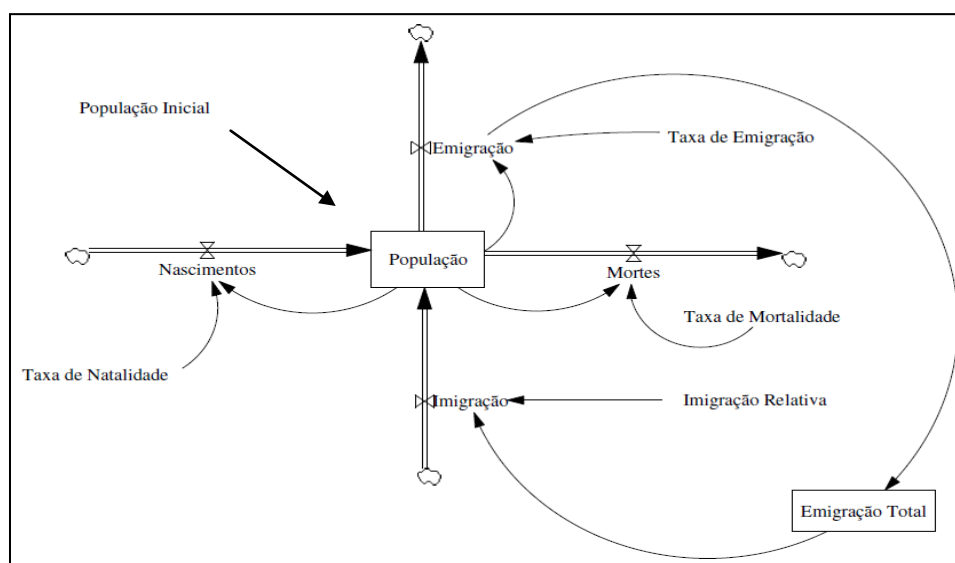


Figura 2: Modelo Demográfico construído no Sistema Vensim. Fonte: Elaboração Própria.

Postosto, as equações de cada elemento que estabelece relação com outros (e não deriva de dados externos) devem estar bem definidas. O próprio software apresenta automaticamente se há falhas ou lacunas a serem preenchidas neste sentido. A Tabela 12, a seguir, representa uma síntese das definições matemáticas estipuladas.

Tabela 12: Definições de relações matemáticas atribuídas no sistema Vensim.

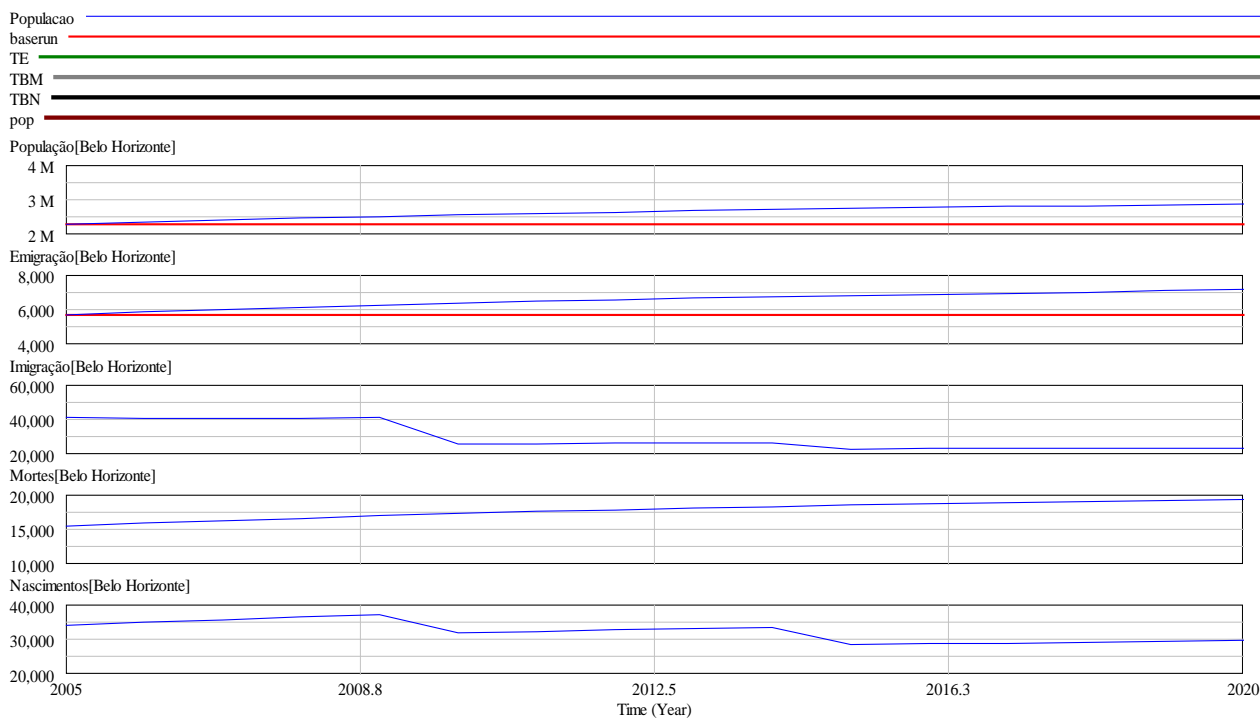
Variável	Equação Sistema
População	$\text{Nascimentos[Mun]} - \text{Mortes[Mun]} - \text{Emigração[Mun]} + \text{Imigração[Mun]}$
Nascimentos	$\text{População[Mun]} * \text{Taxa de Natalidade[Mun]}$
Emigração	$\text{População[Mun]} * \text{Taxa de Emigração[Mun]}$
Mortes	$\text{População[Mun]} * \text{Taxa de Mortalidade[Mun]}$
Imigração	$\text{Imigração Relativa[Mun]} * \text{Emigração Total}$
Emigração Total	$\text{SUM}(\text{Emigração[Mun!]})$

Fonte: Elaboração própria.

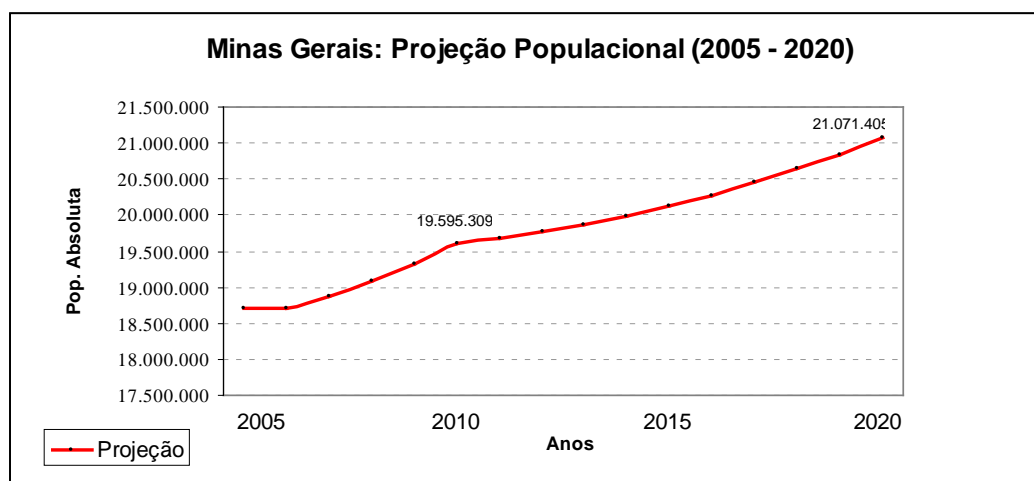
<sup>1</sup> A relação entre os migrantes totais dos outros municípios. Os valores absolutos referem-se à população das municipalidades, que abastecem o(s) município(o)s do sistema.



A inserção dos valores da projeção das componentes, sejam as taxas ou valores absolutos, se deu através de inputs de *scripts* no Vensim por meio de *datafiles*. A checagem do sistema pôde ser realizada ao “rodar” o modelo, uma vez que através do menu de *subscripts*, é permitido a seleção de um único município, todos ou do resto do Brasil, caso seja feita uma análise conjunta da projeção. Neste íterim, o programa oferece uma apresentação de resultados a partir de gráficos, conforme mostra a Figura 3. Já a Figura 4 demonstra a curva de crescimento da população no Estado.

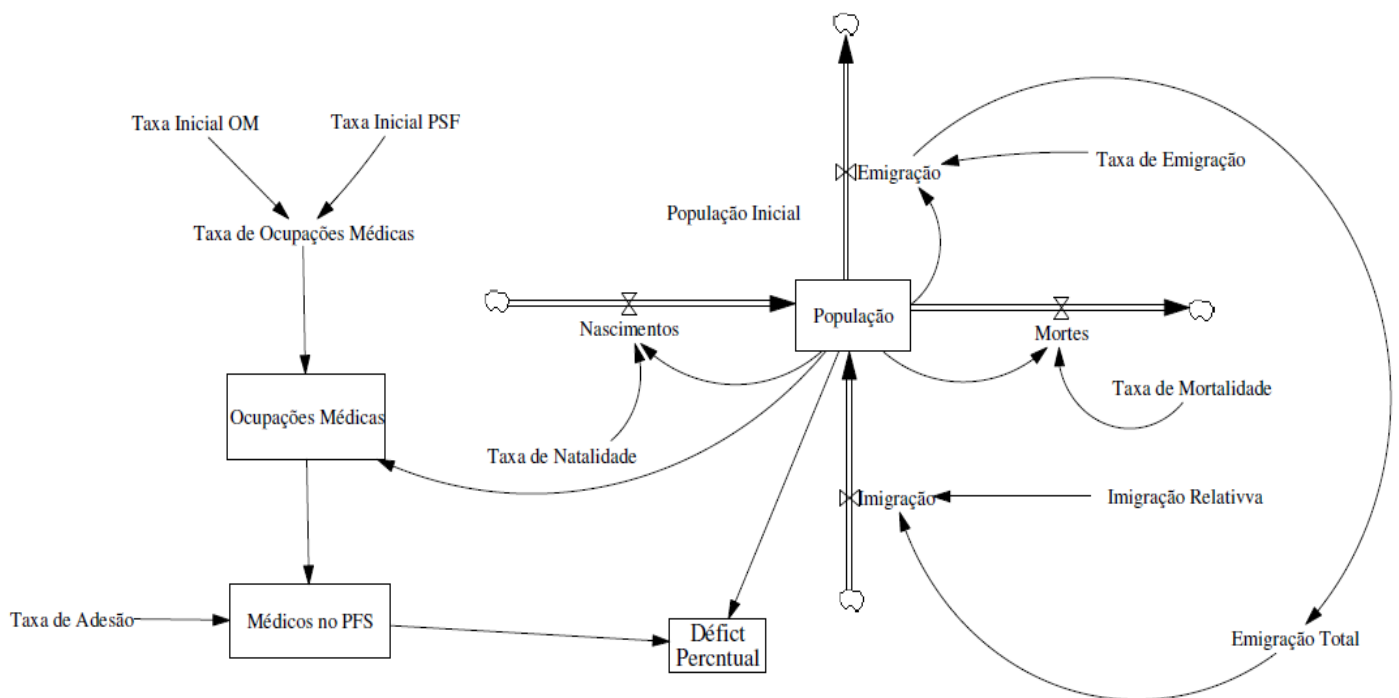


**Figura 3: Resultados gráficos das projeções, exemplo Belo Horizonte. Fonte: Manipulação Vensim.**



**Figura 4: Evolução do contingente populacional mineiro, conforme a projeção.**

## 6.2 Modelo de Demanda de Profissionais no PSF integrado



**Figura 5: Modelo de Demanda de Profissionais no PSF conectado ao Modelo Demográfico, construídos no Vensim. Fonte: Elaboração própria.**

Uma vez já apresentadas e descritas as variáveis elaboradas, o modelo de demanda de profissionais (Figura 5 a seguir) conecta-se ao Demográfico pelo estoque populacional absoluto por município, de acordo com os valores de ocupação de médicos, ou seja, o número absoluto de profissionais. Com os dados anualizados de entrada no *Programa Saúde da Família* e o de Ocupações, foram obtidas as taxas referentes e de adesão.

Assim, através do cruzamento entre a real demanda da população – em vistas dos índices de atendimento recomendados – e médicos no PSF pode-se mensurar se há um déficit percentual, cujo é o maior valor de referência de atenção, pois, indica a situação (projetada ou atual) de certo município quanto ao atendimento mínimo. Como meta para o modelo buscou-se o *déficit* mínimo, de forma que seja possível acompanhar a evolução neste íterim de forma anual.

Uma metodologia de simulação de médicos por habitante já havia sido consolidada no último estudo deste mesmo Projeto, entretanto, realizada para as microrregiões mineiras. Trata-se de uma *Projeção das estimativas das taxas de médicos por habitantes através do ajuste logístico*.

Uma vez obtido os critérios para o comportamento futuro das taxas de médicos por habitante, efetuou-se a projeção dessas taxas de modo a reproduzirem cenários específicos, de acordo com a meta do modelo empregado. Grosso modo, adotou-se a expectativa de convergência das taxas de médicos que poderá tender para a taxa do Estado observada em 2000, ou a taxa do município de Belo Horizonte, no mesmo ano, ou ainda permanecerem constantes e, com isso, a variação do estoque de médicos será um efeito simples da dinâmica populacional considerada no período em questão. Para as estimativas futuras dessas taxas, foi empregada uma função logística, cujas assíntota superior e inferior, bem como a velocidade do incremento, serão calculadas, iterativamente, de modo a reproduzirem, o mais próximo possível, os valores referentes aos anos de 1991 e 2000. A equação, a seguir, representa a curva logística adotada.



**Figura 6: Microrregiões de Minas Gerais: 2000 a 2050. Simulação da variação da taxa de médicos por habitantes. Hipótese de convergência. Fonte: IBGE Censo 2000.**

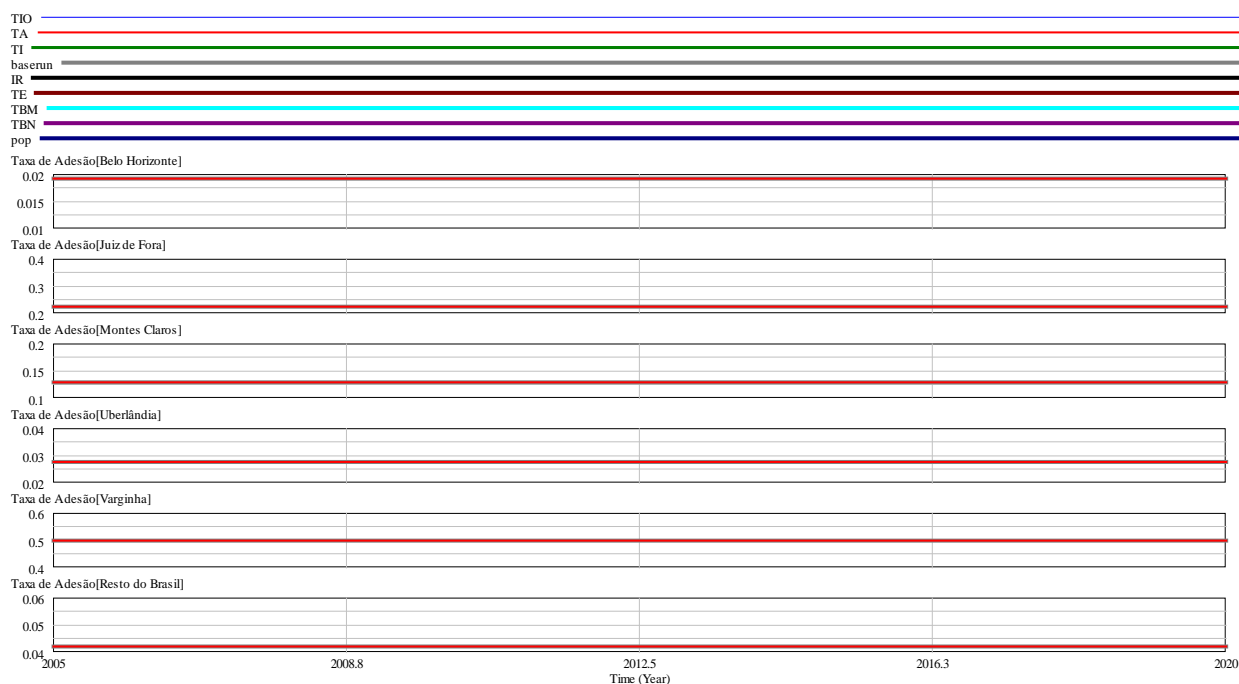
**Tabela 14: Amostra - Valores projetados médios conforme ideal. Resultados 2005 – 2020.**

Município	Nome	PopAtend/Pop	MedFideal	2005	2010	2015	2020
310010	Abadia dos Dourados	0,788	0,0003704	0,000295277	0,000307851	0,000349805	0,000368129
310020	Abaeté	0,826	0,0003704	0,000217838	0,000243380	0,000328597	0,000365817
310030	Abre Campo	0,938	0,0003704	0,000528217	0,000501785	0,000413599	0,000375082
310040	Acaiaca	0,995	0,0003704	0,000469112	0,000452578	0,000397413	0,000373318
310050	Açucena	0,832	0,0003704	0,000523103	0,000497528	0,000412199	0,000374929
310060	Água Boa	0,852	0,0003704	0,000301685	0,000313186	0,000351560	0,000368320
310070	Água Comprida	0,944	0,0003704	0,000461930	0,000446598	0,000395446	0,000373103
310080	Aguanil	0,895	0,0003704	0,000460667	0,000445547	0,000395100	0,000373066
310090	Águas Formosas	1,000	0,0003704	0,000260990	0,000279306	0,000340415	0,000367105
310100	Águas Vermelhas	0,916	0,0003704	0,000302004	0,000313452	0,000351647	0,000368330
310110	Aimorés	0,834	0,0003704	0,000323121	0,000331033	0,000357430	0,000368960

### 6.3 Avaliação do resultado do Modelo de Demanda Profissional

Dadas as condições temporais de cálculo do Modelo, crê-se em uma possibilidade real de aproximação dos valores alcançados, uma vez observado o comportamento tanto da evolução histórica do Programa quanto da atuação dos profissionais. A modelagem vem a contribuir para uma visualização empírica da possibilidade de simulação do sistema de atenção básica.

Vale ressaltar que os cenários foram criados com pré-condições satisfatórias, como por exemplo, na taxa de adesão constante (Figura 7). Dessa maneira, uma condição ótima da tendência se replica para outras variáveis do Modelo, como no caso do aumento do número de médicos cadastrados no PSF e o decréscimo do déficit percentual municipal (Figura 8).



**Figura 7: Gráfico de amostra de linearização da taxa de adesão em diferentes municípios. Fonte: Elaboração própria / Vensim.**

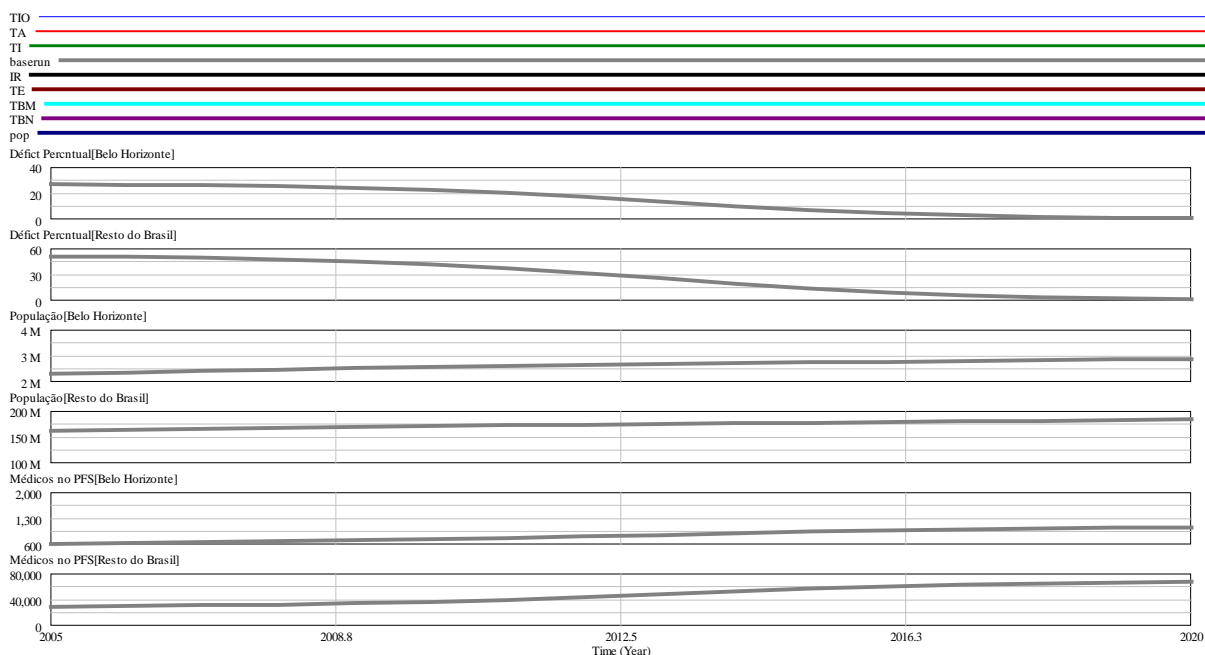


Figura 8: Gráfico de comportamento de variáveis no Modelo. Fonte: Elaboração própria.

## 7. Distribuição espacial das informações

### 7.1 Dinâmica Demográfica no Estado de Minas Gerais

O Banco de Dados onde os valores absolutos da população total, nascimentos, óbitos, respectivos cálculos das taxas brutas de natalidade e mortalidade, emigração e imigração relativa, foi manipulado com os códigos dos municípios segundo o IBGE. Essa informação possibilitou a integração dos resultados numéricos à base cartográfica<sup>2</sup> municipal do estado, de forma que um dos produtos desta etapa da Pesquisa fosse um mapeamento. Com ele, cumpre-se o objetivo de espacializar os resultados encontrados, seja das projeções para 2020 ou, numa integração ampla, para as respostas atualizadas.

Na Figura 9 observa-se a distribuição da População Total para o ano de 2005, comparada à projeção de 2020, assim como as taxas de emigração e imigração relativa para a unidade da federação, com os municípios categorizados. A Figura 10 traz a variação quinquenal 2005 – 2015 da taxa de natalidade no estado e também a taxa bruta de mortalidade encontrada (2020).

Quanto ao principal foco da Pesquisa, o contingente populacional projetado do estado apresentou alterações marcantes. Notam-se várias manchas de crescimento do estoque populacional principalmente nas porções norte, centro-norte e noroeste do estado, ocupando, daqui a dois quinquênios, a categoria dos municípios entre 30 a 100 mil habitantes. Para aqueles mais populosos, vê-se que não só a porção central manteve seu elevado contingente, como também o Triângulo Mineiro e alguns exemplares do Sul do estado apresentaram um incremento.

No entanto, boa parte dos municípios mineiros teve um crescimento “contido”, regular, de forma que algumas taxas apresentam um padrão de decréscimo. Um desses casos é a variação da taxa bruta de natalidade nos períodos 2005, 2010 e 2015, onde a espacialização desta variável indica uma queda homogênea em todo o estado, cuja é uma característica marcante da transição da população brasileira como um todo. Já em relação à Mortalidade, destaque para a concentração das taxas mais altas no Sul mineiro para o ano de 2020.

<sup>2</sup> Para a manipulação da base cartográfica, optou-se por utilizar o sistema de coordenadas geográficas e o datum SIRGAS 2000.

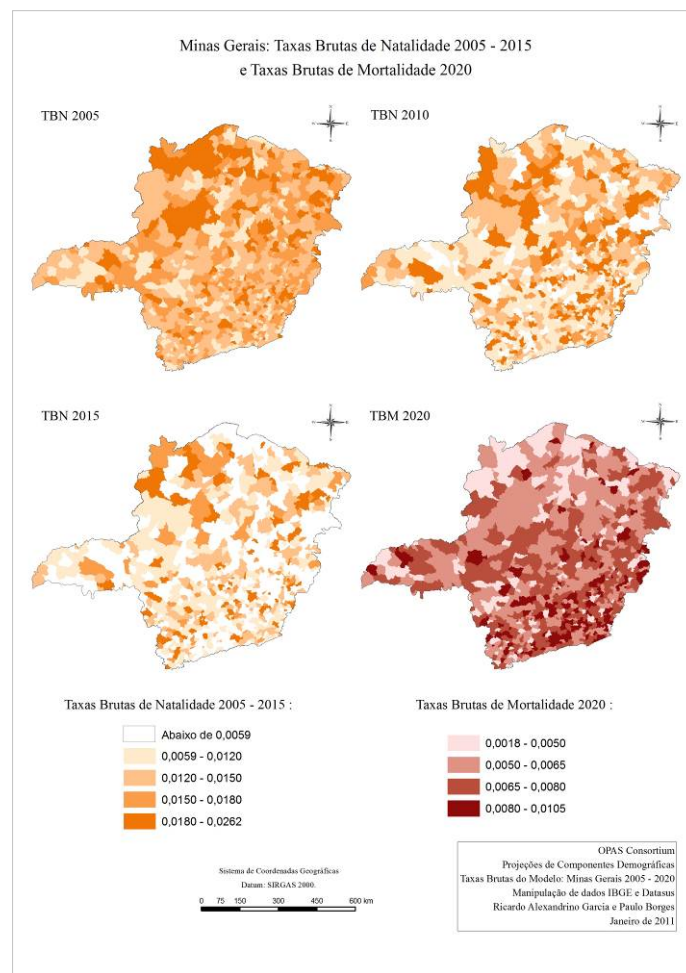
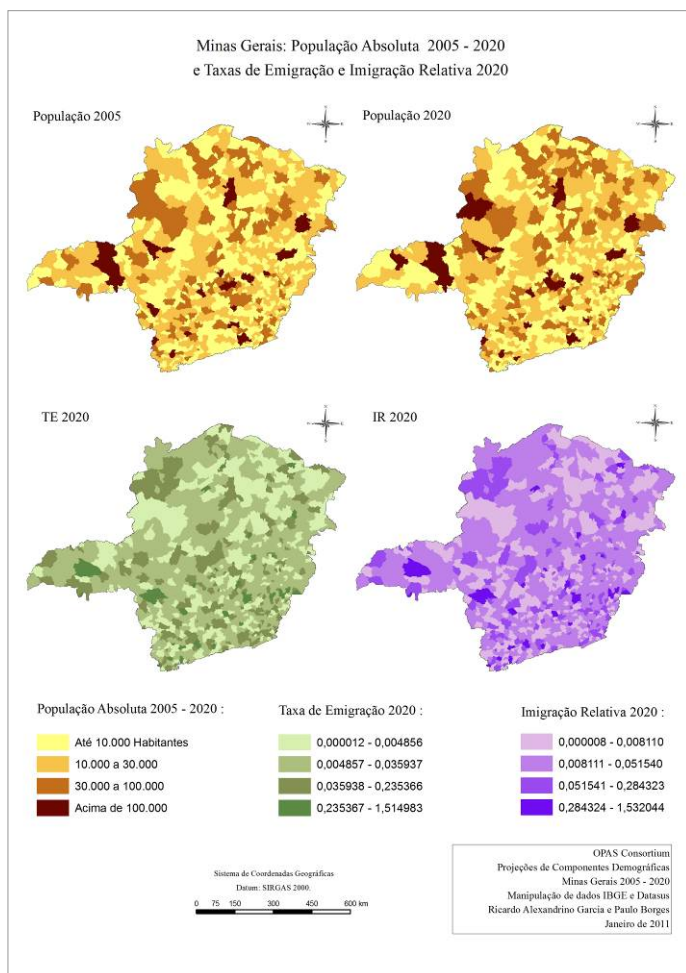


Figura 9 (ESQ): Espacialização da projeção, taxa de emigração e imigração. Fonte: Elaboração própria.

Figura 10 (DIR): Espacialização das taxas brutas de natalidade e mortalidade. Fonte: Elaboração própria.

## 7.2 Médicos no Programa Saúde da Família em Minas Gerais

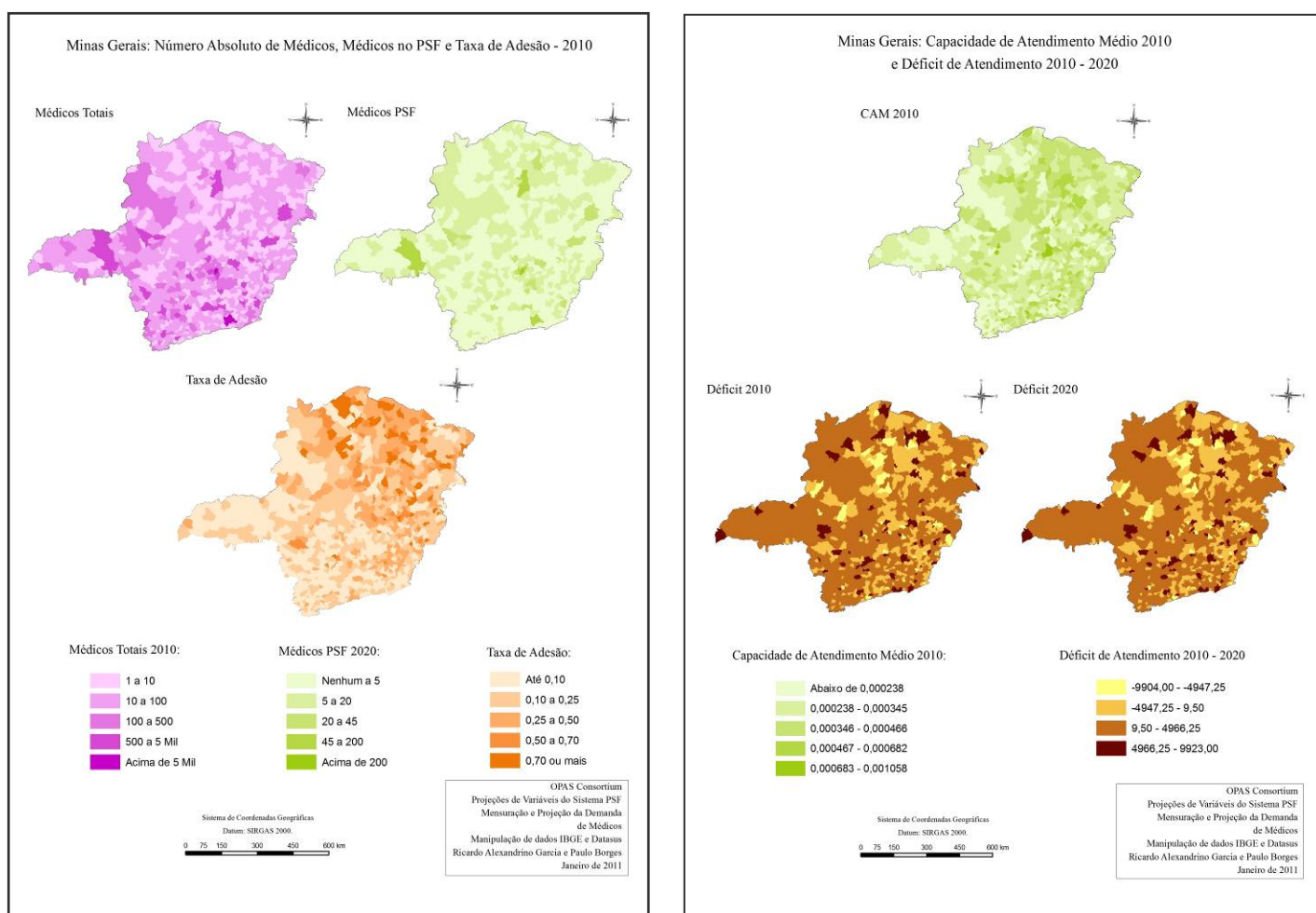
De igual maneira ao Demográfico, as informações relacionadas aos médicos inscritos no Programa Saúde da Família e os resultados projetados até o ano de 2020 de todas as variáveis do Modelo foram associadas aos municípios e seus respectivos códigos de identificação para a malha municipal digital<sup>3</sup> do IBGE. Assim, a etapa de mapeamento pôde ser garantida, com vistas à uma visão espacial (distributiva) no estado. Quanto ao Mapeamento, algumas observações são dignas de nota. A *capacidade de atendimento médio* mostra-se esparsa ao longo do estado, com manchas concentradas nas áreas centrais e, pontualmente em municípios onde há maior concentração demográfica. Pontos isolados correspondem às periferias onde exige maior demanda de adesão de profissionais e, de fato, tem havido assistência. A preocupação deve ser voltada às áreas onde é baixo o índice (noroeste do estado), principalmente naquelas porções onde as condições de vida são piores e a infraestrutura de saúde inadequada (Figura 11). Os *déficits* traduzem um elevado conjunto de valores negativos e, por vezes, fora da margem real de interpretação. Isso significa que tanto para a atualidade, quanto para a projeção – 2020 – Minas Gerais tem a maior parte de seu território com os valores-referência de atendimento satisfatórios, o que traduz uma proporção adequada de médicos por habitantes.

<sup>3</sup> Base cartográfica sistematizada em coordenadas geográficas e datum SIRGAS 2000.



Já o número absoluto de Médicos - conforme a Figura 12 - inscritos ou não no Programa Saúde da Família por municípios, revela uma relação direta com o contingente populacional, o que confirma a proposta do Ministério da Saúde de distribuição proporcional em relação à demanda. Nesse caso, uma melhor avaliação da distribuição de médicos dentro do Programa seria dada pela razão de residentes. Entretanto, uma avaliação de concentração de profissionais indica que existem áreas onde o número absoluto de profissionais é elevado, porém enquadradas na categoria de menor valor de inscrição no PSF, o que pode sugerir uma baixa adesão.

As taxas de registro no Programa Federal mostram um panorama ímpar, uma vez que as porções norte e nordeste do Estado (Jequitinhonha / Mucuri) têm os maiores percentuais de adesão. Tal distribuição pode significar a existência de regiões potenciais em atratividade para a atuação ou uma necessidade que vem sendo atendida.



**Figura 11 (ESQ): Espacialização da Capacidade e Déficit de Atendimento. Fonte: Elaboração própria.**

**Figura 12 (DIR): Espacialização do número absoluto de Médicos e Taxa de Adesão. Fonte: Elaboração própria.**

## 8. CONSIDERAÇÕES

O resultado deste trabalho trouxe, além do cumprimento dos objetivos pretendidos e da discussão de temas avançados no assunto, a elaboração de um Modelo de Projeção Populacional integrado a uma proposta de Sistema de Recursos Humanos atuante (Médicos) para o PSF, em

plataforma Vensim, já incorporado com dados preditivos e calibração. Este produto será disponibilizado em meio digital e torna-se um instrumento de uso coletivo.

Este trabalho tem a intenção de enaltecer a alta capacidade de explicação de modelos complexos voltados à dinâmica social e despertar o interesse para a elaboração de novas pesquisas, aprofundadas, tanto nas possibilidades de conectividade de modelos distintos, quanto na inserção de dados e rodagem deste e/ou de novas propostas. Atividades realizadas neste sentido contribuirão, em médio prazo, não só para o direcionamento de políticas sociais e de desenvolvimento para a população, como também em caráter reflexivo, uma vez que se elucidará a visão sistêmica da sociedade e de outras relações de necessidade.

O resultado da simulação de projeções populacionais e de médicos no PSF na escala municipal do Estado de Minas Gerais trouxe o desenvolvimento de um modelo em *software* de sistematização, de forma que esteja assegurada a metodologia do mesmo, seja facilitada a troca de conhecimento entre as distintas esferas governamentais e a continuidade de seu desenvolvimento/adaptação por outras instituições.

Reforça-se que a dinâmica populacional, conjunta à estrutura de atenção básica às famílias brasileiras é o *locus* de maior importância do Projeto, uma vez que o comportamento demográfico – atual ou com previsibilidade – está diretamente relacionado à demanda de recursos investidos na saúde pública.

## **Bibliografia**

**BARROW, J. D.** Impossibility: The Limits of Science and the Science of Limits. Oxford, University Press. 1998.

**BASU, K., GUPTA, A.** A physician demand and supply forecast model for Nova Scotia. *Cah Sociol Demogr Méd*, v.45, n.2-3, p.255-285, 2005.

**BERGER, D.** Um modelo baseado em agentes para estudo das propriedades emergentes decorrentes da aplicação da lei penal. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

**BRAGANÇA, S. L.; FIGUEIREDO, J. B. B.** Um modelo nacional de simulação econômico-demográfica e um exercício de referência. *Matemática Aplicada e Computacional: Special Issue on Scientific Computing*, v.1, no. 2, p. 165-187, Rio de Janeiro, 1982.

**BRASIL.** Ministério da Saúde. Departamento de Informação e informática do SUS. Cadernos de Informações de Saúde. Acesso em 15 de Janeiro de 2011. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br>

**CESA F., LARENTE, S.** Deficit laboral: una cuestión de oferta y demanda. In. *Health Canada, Boletín de investigación sobre las políticas del sector salud*. V.8, Mayo de 2004.

**CHRISTOFOLETTI, A.** Modelagem de Sistemas Ambientais. 1ª. Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

**DATASUS.** Biblioteca Virtual em Saúde: Características dos Indicadores. Fichas de Qualificação. Disponível em: <http://www.ripsa.org.br>. Acesso em: 28/12/2010.

**ENSP, EPSJV.** Tendências e situação atual do sistema educativo na área de saúde - Relatório final. Contrato de serviços OPAS/BR/CNT/030191.001, 2004.



**GARCIA, R. A., SOARES-FILHO, B. S. & SAWYER, D.** Socioeconomic Dimensions, Migration, and Deforestation: an Integrated Model of Territorial Organization for the Brazilian Amazon. *Ecological Indicators*, 7: 719-730. 2007.

**HAGGETT, P. & CHORLEY, R. J.** Modelos, paradigmas e a Nova Geografia. In: Modelos físicos e de informação em Geografia. (CHORLEY, R. J. & HAGGETT, P., Eds.). Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1-19, 1975. Health information and knowledge management in Europe - Report on a WHO

**IBGE**, Censo Demográfico de 1970, 1980, 1991 e 2000. Rio de Janeiro: IBGE, sd. (Disponível em CD-ROM)

**IBGE**, Estimativas de População. Rio de Janeiro: IBGE, sd. (Disponível em [http://172.25.14.55/teste\\_Estimativas\\_2004/UF\\_Municipio.zip](http://172.25.14.55/teste_Estimativas_2004/UF_Municipio.zip)) 2007.

**MARTINE, G.; LIMA, R.** Projeções Populacionais: Usos, Abusos e Não-Usos. Texto de Discussão. Instituto de Planejamento, IPEA, no. 23. 1989. Meeting - Lisbon, Portugal, 26-27 November 2001. Copenhagen. 10 p.

**MODELSCIENCIAS.** Modelagem Computacional Semiquantitativa e Quantitativa na Educação em Ciências' do PSPPG - Plano Sul de Pesquisa e Pós Graduação do CNPq. Disponível em: <http://www.modelciencias.furg.br>. Acesso em: 04/01/2011.

**NEWTON, P. B.** Modelando processos econômicos com a metodologia de dinâmica de sistemas: notas introdutórias. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Economia. Texto para discussão apresentado em seminário interno no CEDEPLAR/UFMG. Março/2009.

**O'BRIEN-PALLAS, L.** Where to go from here?. *Canadian Journal of Nursing Research*, v. 33, n. 4, p3-14, 2002.

**OLIVEIRA, S. P.** Modelo para a previsão de demanda de médicos para a internação pelo SUS: estudo de caso para o Estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UERJ. 2007. 193p.

**PIERANTONI C.R., FRANÇA T., VARELLA T.C.** Dinâmica das graduações em saúde no Brasil - 1995 a 2003 - Medicina, in BRASIL, Ministério da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, Dinâmica das graduações em saúde no Brasil: subsídios para uma política de recursos humanos. Brasília, 2006, 409 p.

**POND B., MCPAKE B.** The health migration crisis: the role of four Organization for Economic Cooperation and Development countries. *Lancet*, v.367, n.9520, p.1448-55, 2006, Apr 29.

**PRESTON, S. H. HEUVELINE, P. GUILLOT, M.** Demography. Measuring and Modeling Population processes. Massachusetts: Blackwell Publishers, 2001, p. 03-20.

**SANTOS, T.F.** Projeções de população de Pernambuco, desagregada por microrregiões, até o ano de 2010: aplicação de métodos alternativos. Belo Horizonte: CEDEPLAR/UFMG, 1989 (Dissertação de mestrado em Demografia).

**TI-YAN, S., WEI-DONG, W., MIN, H.** Study on Spatio-Temporal System Dynamic Models of Urban Growth. *Systems Engineering* 27 (1) 2007.

**WORLD HEALTH ORGANIZATION (a)** - Regional Office for Europe, 2002.