

Uso de programação linear para otimizar o acesso geográfico em redes temáticas de atenção à saúde

Use of linear programming to optimize geographic access in specialized healthcare networks

Uso de una programación lineal para optimizar el acceso geográfico a redes temáticas de atención a la salud

Marcelo Battesini ¹
Hellen dos Santos Coelho ¹
Marismary Horsth De Seta ²

doi: 10.1590/0102-311X00055017

Resumo

Este artigo discute a conformação de redes temáticas de atenção à saúde e tem como objetivo analisar o potencial de otimização do acesso geográfico na rede de quimioterapia do Sistema Único de Saúde (SUS), no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com o uso de programação linear. Trata-se de um estudo de modelagem matemática ex post facto, com objetivo analítico e abordagem qualitativa, que utilizou como procedimentos de coleta a pesquisa bibliográfica e documental. O potencial de otimização foi avaliado pela diferença percentual entre os somatórios das distâncias percorridas na rede para a situação atual e para a solução ótima obtida. Entre os resultados identificados na situação otimizada estão a diminuição de 293,246km (14,4%) na distância total mensal percorrida na rede, correspondendo a uma redução média de 13,02km por procedimento realizado, se comparada com a atual distância percorrida, a ser obtida pela redistribuição dos municípios de origem e das capacidades de oferta de procedimentos pelos serviços de referência. Esses resultados indicam a existência de grande potencial de otimização na rede estudada, comprovando que o uso da programação linear pode oferecer suporte técnico ao processo de conformação de novas redes temáticas de atenção à saúde e à otimização daquelas existentes.

Acesso aos Serviços de Saúde; Tratamento Farmacológico; Planejamento em Saúde; Programação Linear

Correspondência

M. Battesini
Universidade Federal de Santa Maria.
Av. Roraima 1000, Santa Maria, RS 97105-900, Brasil.
marcelo-battesini@ufsm.br

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.
² Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brasil.



Introdução

A palavra “rede” possui múltiplas definições, referindo-se, no âmbito dos serviços de saúde, à articulação funcional entre unidades prestadoras de distintas naturezas, a um propósito comum, à organização hierárquica segundo níveis de complexidade, a uma referência geográfica comum, a um comando único, ao compartilhamento de normas operacionais, sistemas de informação e outros recursos logísticos ¹.

A organização do Sistema Único de Saúde (SUS) na forma de redes de serviços para a atenção à saúde está presente desde a sua concepção, permeando várias legislações estruturantes e operacionais. A ênfase normativa colocada na regionalização para minorar a excessiva fragmentação decorrente da descentralização implementada como municipalização, notadamente após 2006, estabeleceu o reforço da pactuação entre as esferas estaduais e municipais e a instituição de instâncias colegiadas de gestão regionais. A regionalização, condicionada pela capacidade de oferta e financiamento da atenção à saúde e pelas relações de poder entre governos, organizações e cidadãos, é caracterizada como processo técnico político ². O uso das redes de atenção à saúde (RAS) representa uma possibilidade de ampliação do acesso e de alcance da integralidade na oferta eficiente de ações e serviços, próximos aos locais de residência dos usuários.

A proposta das RAS não é nova ³ e, estruturada para o cuidado integrado à saúde, pode melhorar a qualidade dos serviços, os resultados sanitários, a satisfação dos usuários e reduzir os custos dos sistemas de atenção à saúde ⁴. É um caminho possível para o acesso com continuidade assistencial, integralidade da atenção e utilização racional dos recursos existentes ⁵. O termo “cuidado integrado” tem sido preferido, a fim de que se evite confusão entre os termos “redes regionalizadas” e “sistemas integrados”, cujas origens baseiam-se em distintos arranjos dos sistemas de saúde britânico e americano ⁶.

As diretrizes para as RAS – estratégicas para a reestruturação do sistema de saúde e para a garantia dos direitos constitucionais de cidadania – foram estabelecidas em 2010 ⁷ e reafirmadas em 2011 ⁸, como formas organizativas das regiões de saúde. Esse arranjo de serviços, mediado por sistemas de apoio e de gestão, possibilita realizar procedimentos de diferentes densidades tecnológicas por meio da associação de serviços de saúde ⁷ oferecidos de maneira igualitária, eficiente, organizada e de qualidade, com o objetivo de garantir o direito universal à saúde ³ e à integralidade do cuidado ⁵.

De 2011 a 2014, foram pactuadas de forma tripartite cinco redes temáticas prioritárias ou linhas de cuidado temático. São as redes Cegonha, Atenção às Urgências e Emergências, Atenção Psicossocial, Cuidados à Pessoa com deficiência e Atenção às pessoas com doenças crônicas, que contempla o câncer.

A rede oncológica, historicamente construída, habilitada para o atendimento às pessoas com câncer, abrange unidades de assistência de alta complexidade (UNACON), centros de assistência de alta complexidade em oncologia (CACON) e centros de referência de alta complexidade em oncologia (CRACON). Neste estudo, destaca-se a rede temática oncológica de quimioterapia, notadamente no seu componente UNACON, que opera de forma integrada com a rede de saúde local e regional ⁹. Trata-se de uma unidade hospitalar de prestação de assistência especializada de alta complexidade no diagnóstico definitivo e no tratamento dos cânceres mais prevalentes no Brasil.

A distribuição dos serviços habilitados para o tratamento de pacientes com doenças complexas é fundamental para garantir o acesso aos centros especializados e viabilizar a melhora das taxas de sobrevivência ¹⁰. A localização dos serviços é um dos fatores fundamentais na definição das redes, contudo a dimensão geográfica reflete também a distância percorrida pelos usuários até a obtenção dos cuidados de saúde, englobando distância linear, tempo de locomoção e custos relacionados ao deslocamento ¹¹. Há que se considerar que os pacientes necessitam de repetidas visitas aos serviços de saúde para tratamento ambulatorial, como no caso dos pacientes oncológicos em quimioterapia, e o trajeto pode se tornar inviável, dada a sua debilidade pela doença ¹².

O acesso geográfico está relacionado à disponibilidade, dimensão tangível do acesso à saúde que diz respeito à existência do serviço de saúde no local apropriado e no momento em que é necessário. Ele representa um conceito que também se expressa na relação geográfica entre os serviços e o indivíduo, como distância e opções de transporte, bem como na relação entre tipo, abrangência, qualidade e quantidade dos serviços de saúde prestados ¹³. Melhorar o acesso geográfico pode contribuir para aumentar a sobrevivência e melhorar o prognóstico, impactando a qualidade de vida do paciente e de suas famílias, ao mesmo tempo em que a análise do padrão geográfico de acesso pode subsidiar o planejamento e a alocação de recursos ¹⁰.

Vários estudos discutem os aspectos conceituais, o processo de construção e o funcionamento de RAS no âmbito do SUS ^{4,6,14}, bem como caracterizam os fluxos resultantes com o uso de sistemas de informação geográfica ^{5,15}. Entretanto, são poucos os estudos publicados ^{16,17,18} no Brasil sobre o uso de modelos matemáticos de programação linear no apoio à decisão sobre redes de cuidados em saúde, e não se encontrou publicação científica que versasse sobre a otimização da rede temática de quimioterapia por programação linear.

A insuficiência de estudos e metodologias que avaliem o impacto da conformação das RAS sobre o acesso geográfico de seus usuários delimita a questão do estudo: o uso de modelagem matemática pode oferecer suporte técnico ao processo de conformação de redes temáticas de atenção à saúde e à otimização das redes existentes? O objetivo deste artigo é analisar o potencial de otimização do acesso geográfico na rede temática de quimioterapia do SUS, no Rio Grande do Sul, com o uso de programação linear.

Métodos

Foi conduzido um estudo de modelagem matemática *ex post facto*, com objetivo analítico e abordagem quali-quantitativa, baseado também em pesquisa bibliográfica e documental ^{19,20,21}. O cunho analítico sugere que os resultados sirvam para aprofundar o conhecimento sobre a realidade da situação específica ²⁰ e esclarecer que fatores contribuem para a ocorrência do fenômeno estudado, na busca da solução para o problema.

O potencial de otimização do acesso geográfico foi estudado em relação à rede UNACON do Rio Grande do Sul (rede UNACON-RS), com base nas distâncias totais percorridas pelos pacientes entre os municípios de origem e de destino para a realização de procedimentos quimioterápicos, e avaliado pela diferença percentual nos somatórios das distâncias percorridas nessa rede entre a situação atual e a situação otimizada com modelagem matemática.

Pesquisaram-se as quantidades aprovadas do conjunto de 62 procedimentos oncológicos ambulatoriais de quimioterapia realizados em adultos, excluindo-se os chamados procedimentos especiais, tipicamente ofertados em uma UNACON, por local de atendimento (destino) e de residência (origem), no período de janeiro de 2008 a dezembro de 2015. A pesquisa da produção ambulatorial (Sistema de Informações Ambulatoriais do SUS – SIA/SUS) foi realizada na plataforma DATASUS (Departamento de Informática do SUS) com o auxílio da ferramenta TABNET (TabWin. Departamento de Informática do SUS. http://portal.saude.gov.br/portal/se/datasus/area.cfm?id_area=732), em 10 de abril de 2016. Considerou-se que cada procedimento corresponde a um deslocamento de ida e de volta.

As distâncias entre os municípios de origem do paciente (município referenciado) e os serviços de oncologia (UNACON referência) foram apuradas com o auxílio do serviço de pesquisa Google Maps (<https://www.google.com.br/maps>), utilizando as seguintes opções de seleção: centro da cidade, modalidade de transporte carro e menor distância medida em quilômetros, multiplicada por dois (ida e volta). Optou-se pelo carro por ser essa modalidade a que mais se aproxima do percurso terrestre realizado por diferentes veículos disponibilizados pelos gestores municipais (carro oficial, ambulância, micro-ônibus e ônibus).

Os dados obtidos instrumentalizaram a modelagem matemática por programação linear da rede UNACON-RS como um típico problema de transportes de Pesquisa Operacional, área do conhecimento que pode ser entendida como ^{22,23,24} um conjunto de ferramentas de análise aplicadas para obter a melhor solução, ou solução ótima, pela resolução de problemas matematicamente modelados para subsidiar a tomada de decisão.

Rede UNACON-RS

Como resultado da aplicação dos parâmetros de programação para os estados das regiões Sul e Sudeste ²⁵ e do processo de pactuação aprovado ²⁶ e homologado em 2014 ²⁷, a rede UNACON-RS atende a 497 municípios organizados em trinta regiões de saúde e apresenta ²⁷ estabelecimentos de saúde, distribuídos em vinte municípios de referência, conforme apresentado na Tabela 1. Vale destacar, dentre os parâmetros para planejamento e avaliação ²⁷, que nas regiões Sul e Sudeste do país, cada

Tabela 1

Quantidade de serviços, municípios, procedimentos e população atendida, por município de referência da rede UNACON-RS.

Município de referência	UNACON-RS (unidades)	Municípios (unidades)	População * (habitantes)	Procedimentos ** (unidades)
Passo Fundo	2	54	497.130	1.562
Ijuí	1	68	668.887	1.650
Lajeado	1	37	327.467	781
Santa Maria	1	32	541.806	1.124
Santa Cruz do Sul	1	21	469.891	865
Bento Gonçalves	1	22	280.639	502
Pelotas	2	18	585.960	1.431
Porto Alegre	5	57	3.080.731	6.485
Rio Grande	1	4	260.469	580
Caxias do Sul	2	27	807.292	1.306
Cachoeira do Sul	1	12	200.110	349
São Leopoldo	1	16	598.550	764
Novo Hamburgo	1	5	391.025	657
Cruz Alta	1	13	151.746	328
Erechim	1	60	417.289	746
Uruguaiana	1	11	463.497	678
Bagé	1	6	182.723	401
Carazinho	1	9	97.028	254
Santa Rosa	1	22	226.213	638
Canoas	1	3	537.584	239

UNACON-RS: unidades de assistência de alta complexidade do Rio Grande do Sul.

Fonte: Resolução CIB/RS nº 108/2013²⁶, Portaria MS nº 140/2014²⁷ e Sistema de Informação Ambulatorial, Sistema Único de Saúde (<http://sia.datasus.gov.br/principal/index.php>).* Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011 (<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2011/>);

** Total de procedimentos pagos no mês de dezembro de 2015.

UNACON deve ser referência para, no máximo, 500 mil habitantes (art. 28) e ofertar, no mínimo, 5.300 procedimentos de quimioterapia por ano (\approx 440/mês).

As quantidades de procedimentos mensais obtidas no *site* do DATASUS, no período entre 2008-2015, foram convertidas em médias aritméticas, resultando em 32 trimestres, para suavizar as sazonalidades presentes nos dados. A Figura 1 indica uma importante tendência de aumento na demanda e oferta de procedimentos na rede UNACON-RS, o que é comprovado pelos coeficientes angulares positivos e pelos altos valores do coeficiente de determinação (R^2) das linhas de tendência.

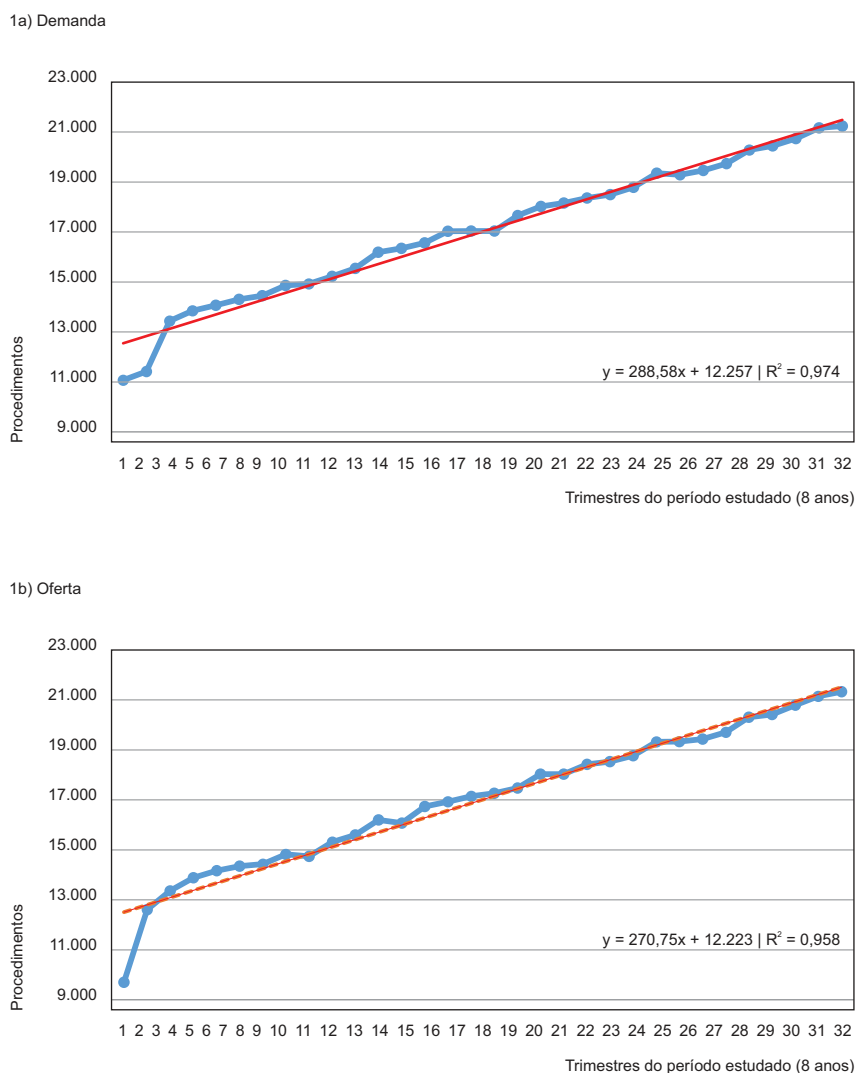
As médias arredondadas dos totais de procedimentos ofertados e demandados, referentes ao quarto trimestre de 2015 (32º trimestre), foram, respectivamente, 21.243 e 22.523. A diferença de 1.183 procedimentos foi considerada pequena (5,54%) e pode decorrer de glosas de pagamentos entre os diferentes meses, comuns em se tratando de dados sobre o pagamento de procedimentos. Considerando a tendência de crescimento identificada e a necessidade de investigar uma conformação de rede com tamanho igual ou superior ao atual, esses valores foram tomados como referência na modelagem. As ofertas e as demandas foram consideradas como capacidades existentes, dado ser razoável assumir que existe capacidade de a rede realizar procedimentos que foram pagos.

Modelo de transportes aplicado a rede UNACON-RS

Um problema de transporte tem modelagem trivial, sendo um caso especial de um problema de programação linear, que em seu formato padrão pode ser expresso na sua forma matricial pela Equação 1. A ideia subjacente à modelagem matemática é identificar o valor escalar ótimo que minimiza uma

Figura 1

Quantidades médias trimestrais demandadas e ofertadas na rede UNACON-RS, 2008 a 2015.



UNACON-RS: unidades de assistência de alta complexidade do Rio Grande do Sul.

Fonte: *Resolução CIB/RS nº 108/2013*²⁶. Elaborado pelo autor, com o auxílio do software TabWin (Departamento de Informática do SUS. http://portal.saude.gov.br/portal/se/datasus/area.cfm?id_area=732).

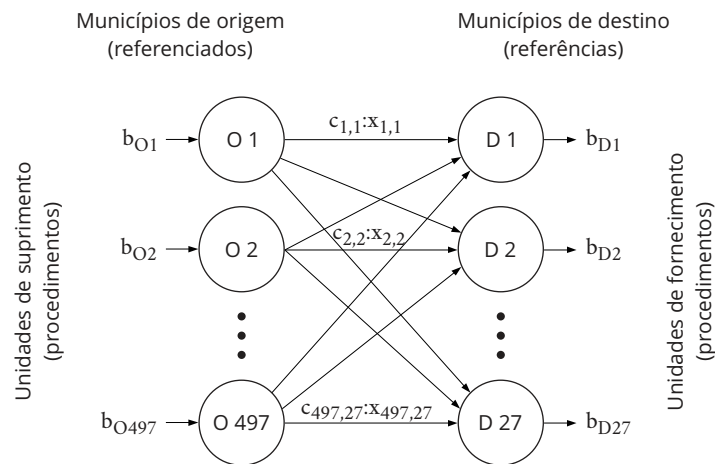
função objetivo de interesse ($\min z = cx$) pela identificação do ajuste ótimo expresso pelas quantidades de unidades a serem transportadas (vetor x), considerando o custo do transporte (vetor c), respeitando um conjunto de restrições ($Ax \leq b$) de fornecimento na origem e de demanda no destino e seus os seus valores limites (vetor b).

$$\min z = cx \mid Ax \leq b \forall x_{ij} \geq 0 \quad (\text{Equação 1})$$

A Figura 2 é uma representação do modelo expresso na Equação 1. Para a formulação do modelo da rede UNACON-RS, a solução ótima ($\min z$) indica o menor somatório de todas as distâncias percorridas para a realização de todos os procedimentos demandados, ao passo que o ajuste ótimo para as variáveis (vetor x) representa a quantidade de procedimentos que um determinado município

Figura 2

Representação da rede UNACON-RS na forma de nós e arcos.



UNACON-RS: unidades de assistência de alta complexidade, do Rio Grande do Sul.

Fonte: elaborado pelos autores.

deve realizar em uma dada UNACON. As distâncias entre os municípios de origem e destino foram utilizadas como coeficientes de custo da função objetivo (c). As médias trimestrais das quantidades totais aprovadas de procedimentos oncológicos considerados foram utilizadas como limites (vetor b) das restrições.

Formulação do modelo matemático rede UNACON-RS

A modelagem da rede foi feita com base na Equação 1. Para os valores dos coeficientes de custos da função objetivo (vetor c), foram consideradas as distâncias entre municípios de origem e destino. Para cada município de destino, foi definida uma região de abrangência que envolveu todos os municípios já constantes na relação referência-referenciado, normativamente estabelecidos para a rede UNACON-RS, pela *Resolução CIB/RS nº 108/2013*. Além destes, municípios situados próximos poderiam ter sua referência alterada, de modo a permitir que o modelo considerasse uma gama maior de origens ao buscar o ajuste ótimo. A Figura 3 exemplifica especialmente esse procedimento: em cor mais escura, os municípios de referência selecionados (Porto Alegre e Passo Fundo, Rio Grande do Sul); em cor mais clara, os municípios da região de abrangência; sem cor, os demais.

Matematicamente, as distâncias adotadas foram: (a) 7km, para procedimentos demandados e atendidos nos municípios de referência; (b) medidas obtidas *online*, para procedimentos demandados e atendidos em municípios da região de abrangência; e (c) 1.000km, para os municípios que estão fora da região de abrangência.

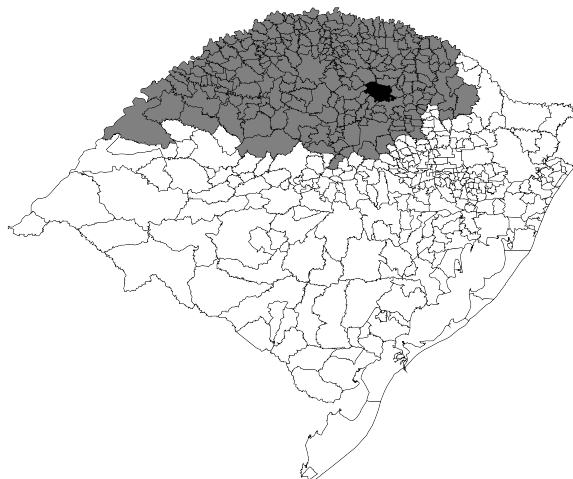
Em ambas as rodadas, os limites das restrições de demanda (vetor b) totalizaram 22.523 procedimentos, referentes às quantidades médias trimestrais arredondadas do quarto trimestre de 2015, e os municípios com demanda igual a zero tiveram os valores substituídos por um procedimento.

Para os limites das restrições de oferta de cada UNACON (vetor b), na primeira rodada foi considerada uma capacidade excedente de 50 por cento, procedimento que permitiu que o modelo identificasse novas possibilidades para a relação referência-referenciado. Com essa flexibilização, a soma dos limites das restrições de oferta passou de 21.243 para 32.014 procedimentos, o que demandou a inserção de uma restrição de demanda na modelagem (município fictício) que absorvesse os 9.491 procedimentos excedentes e a adição de vinte variáveis fictícias, às quais foram atribuídos coeficientes de custo iguais a dois mil quilômetros. Esse procedimento permitiu identificar limites de oferta

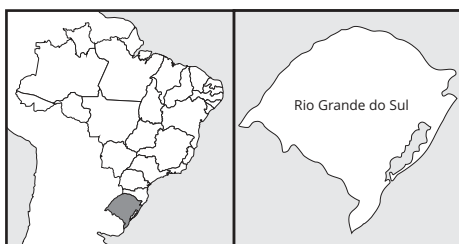
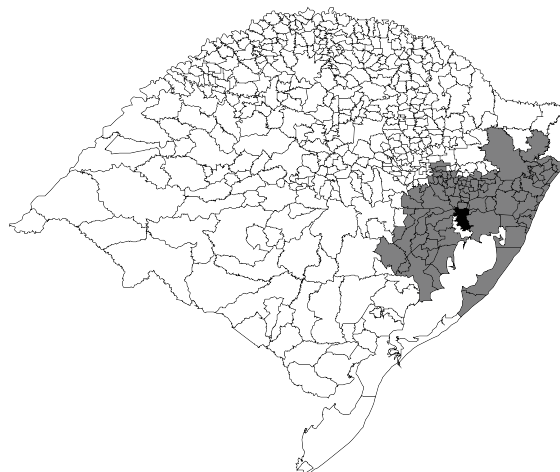
Figura 3

Regiões de abrangência consideradas para Passo Fundo e Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

3a) Região de Passo Fundo



3b) Região de Porto Alegre



Fonte: *Resolução CIB/RS nº 108/2013*²⁶. Elaborado pelo autor, com o auxílio do software TabWin (Departamento de Informática do SUS. http://portal.saude.gov.br/portal/se/datasus/area.cfm?id_area=732).

distintos daqueles propostos na rede atual, porém com o mesmo total de 22.523 procedimentos, que foram utilizados na segunda rodada, na qual não houve a inserção de município fictício.

A modelagem matemática foi transcrita em linhas de programação no software livre *lp_solve* version 5.1.0.0. (GNU LGPL: sistema de programação linear de código aberto, 2004, <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>), que foi ajustado para o modo linear, inteiro e regra de pivotamento Devex.

O problema foi resolvido em duas rodadas, e a solução ótima foi comparada com a atualmente adotada para a rede UNACON-RS.

Resultados

Na primeira rodada, o modelo foi desequilibrado pelo acréscimo na capacidade de oferta para permitir a identificação de um ajuste otimizado em relação à situação atual. O formato matricial genérico apresentado na Equação 1 resultou em um modelo com 9960 variáveis (x_1 a x_{9960}) e 518 restrições, sinteticamente expresso nas Equações 2, 3 e 4:

$$\min z = 1000x_1 + 100x_2 + \dots + 35,20x_{12} + \dots + 2000x_{9960} \quad (\text{Equação 2})$$

Sujeito a 20 restrições de oferta:

$$\begin{aligned} \text{Bagé: } & x_1 + x_2 + \dots + 2000x_{498} = 9728 \\ \text{Bento Gonçalves: } & x_{499} + x_{500} + \dots + 2000x_{996} = 1146 \\ & \dots \quad (\text{Equação 3}) \end{aligned}$$

$$\text{São Leopoldo: } x_{8965} + x_{8966} + \dots + 2000x_{9462} = 2475$$

$$\text{Uruguaiana: } x_{9463} + x_{9464} + \dots + 2000x_{9960} = 359$$

Sujeito a 498 restrições de demanda:

$$\text{Aceguá: } x_1 + x_{499} + \dots + 2000x_{9463} = 8$$

$$\text{Água Santa: } x_2 + x_{500} + \dots + 2000x_{9464} = 7$$

$$\dots \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{Xangri-lá: } x_{497} + x_{995} + \dots + 2000x_{9959} = 12$$

$$\text{Fictício: } x_{498} + x_{996} + \dots + 2000x_{9960} = 9491$$

Após 646 iterações, o modelo apresentou solução ótima igual a $\min z = 1.735.153\text{km}$, desconsiderados os procedimentos alocados às variáveis fictícias. Esse valor é a mínima distância mensal para realizar todos os procedimentos demandados na rede UNACON-RS, que, para ser obtido, deve respeitar o ajuste para as variáveis que indicam as quantidades de procedimentos e as combinações de locais de origem e destino.

A segunda rodada foi conduzida com modelo equilibrado e com formulação similar àquela apresentada nas Equações 2, 3 e 4, porém com os limites das restrições de oferta ajustados para um total de 22.523 procedimentos. Como era esperado, após 597 iterações, o modelo apresentou solução ótima e ajuste iguais aos da primeira rodada ($\min z = 1.735.153\text{km}$), o que comprovou a estabilidade do modelo. A matriz (A) que indica esse ajuste ótimo tem dimensão 20 x 517, motivo pelo qual não foi apresentada na sua forma completa.

Essa foi considerada a solução otimizada para a rede UNACON-RS, mediante a qual os pacientes precisam se deslocar por uma distância média de 77,04km por procedimento ($1.735.153 \div 22.523$) em busca de tratamento oncológico.

A análise da distância total atualmente percorrida nessa rede foi realizada para permitir a sua comparação com a obtida na solução otimizada. O seu cálculo demandou a realização de um procedimento simples expresso pelo somatório das multiplicações das quantidades de procedimentos demandados por um dado município pela distância até a UNACON de referência.

As distâncias adotadas e as demandas e ofertas totais de 22.523 procedimentos foram as mesmas consideradas na solução otimizada, obtendo-se uma distância mensal total percorrida mínima de 2.028.399km na rede UNACON-RS, o que representa uma distância média percorrida de 90,06km, das suas residências até a UNACON. Nesse ajuste, as quantidades de procedimentos entre origens e destinos foram alocadas segundo as normas estabelecidas para a rede UNACON-RS^{25,26,27}, em um procedimento adotado em função de terem sido utilizadas médias que não necessariamente correspondem aos valores de um dado mês, seja na ferramenta TABNET, seja nos microdados. O procedimento de alocação foi simples, tendo sido adotadas três regras para os casos em que a demanda (i) fosse completamente atendida pela UNACON, situação mais comum (todos os procedimentos demandados foram enviados para ela); (ii) superava a capacidade da UNACON mais próxima (70% dos procedimentos foram designados ao serviço de referência e o restante para a mais próxima); (iii) superava a capacidade das duas UNACON mais próximas (70% dos procedimentos foram designados para UNACON de referência e o restante para a segunda e terceira UNACON mais próximas). O ajuste resultante do uso das regras de alocações foi considerado muito bom, o que foi comprovado com base em um coeficiente de correlação de Pearson de 0,993 entre quantidades de procedimentos ofertados obtidas na base de dados do DATASUS e quantidades manualmente alocadas.

Os resultados obtidos para a rede UNACON-RS atual e para a solução otimizada foram confrontados para identificar o potencial de otimização. Observou-se uma redução de 293.246km (2.028.399-1.735.153) na distância total mensal percorrida (14,4%), o que corresponde a uma redução de 13,02km (90,06-77,04) na distância média percorrida a cada procedimento. Para que essa otimização seja obtida, alguns municípios de referência devem reduzir a quantidade ofertada de procedimentos. Outros devem aumentá-la, como indica a coluna *Diferença*, na Tabela 2, que também apresenta distâncias médias percorridas na situação otimizada. O maior potencial de otimização está relacionado

Tabela 2

Total otimizado de procedimentos e distâncias médias percorridas, por município de referência da rede UNACON-RS.

Municípios de referência	Total de procedimentos		Diferença		Distância média percorrida (km)
	Atual (unidades)	Otimizada (unidades)	Absoluta	%	
Passo Fundo	1.956	1.416	-540	-27,6	104,36
Ijuí	1.676	1.371	-305	-18,2	126,48
Lajeado	1.124	958	-166	-14,8	73,15
Santa Maria	1.284	1.123	-161	-12,5	106,80
Santa Cruz do Sul	866	805	-61	-7,0	55,88
Bento Gonçalves	674	643	-31	-4,6	74,74
Pelotas	1.541	1.472	-69	-4,5	61,36
Porto Alegre	6.112	5.901	-211	-3,5	59,43
Rio Grande	628	628	0	0,0	46,42
Caxias do Sul	1.302	1.392	90	6,9	61,53
Cachoeira do Sul	345	374	29	8,4	98,51
São Leopoldo	1.011	1.146	135	13,4	28,18
Novo Hamburgo	863	986	123	14,3	40,85
Cruz Alta	336	410	74	22,0	81,71
Erechim	754	956	202	26,8	123,30
Uruguaiana	491	677	186	37,9	210,54
Bagé	409	568	159	38,9	91,10
Carazinho	267	381	114	42,7	45,33
Santa Rosa	644	957	313	48,6	101,92
Canoas	240	359	119	49,6	14,65

UNACON-RS: unidades de assistência de alta complexidade do Rio Grande do Sul.

Fonte: elaborado pelos autores.

às maiores diferenças percentuais, positivas ou negativas, a exemplo de Canoas, Rio Grande do Sul, que deveria aumentar 49,6% ($359 \times 100 / 240$) o total de procedimentos realizados, e de Passo Fundo, que deveria reduzi-los em 27,6% ($1416 \times 100 / 1956$).

Discussão

As neoplasias representam um grave problema de saúde pública pelo crescente número de mortes prematuras, perda de qualidade de vida e impacto econômico e social. No Brasil, estima-se que, no biênio 2016-2017, ocorreram cerca de 600 mil casos novos de câncer, sendo mais frequentes os cânceres de mama em mulheres e de próstata em homens⁹. A importância de se abordar o procedimento quimioterapia deve-se a que, segundo parâmetro nacional vigente até 2015, cerca de 70% dos doentes de câncer no Brasil são assim tratados em algum momento da sua doença, durante seis meses, em média, por paciente, sendo o tempo mínimo três e o máximo trinta meses²⁸.

No Rio Grande do Sul, nas últimas décadas, o coeficiente de mortalidade por neoplasias vem aumentando em ambos os sexos, tendo passado, no período entre 1990 e 2011, no sexo masculino, de 119,5 para 172,1 por 100 mil homens e, no sexo feminino, de 87,9 para 135,1 por 100 mil mulheres²⁹.

Buscou-se analisar o potencial de otimização do acesso geográfico na rede temática de oncologia do SUS, no Rio Grande do Sul, mediante o uso de programação linear e comparação entre a conformação atual da rede UNACON-RS com a identificada na solução ótima, em relação ao procedimento quimioterapia. Apurou-se que a solução ótima oferece a diminuição de 293.246km (14,4%) na distância total mensal percorrida, o que corresponde a uma redução média de 13,02km. Na prática, essa

redução pode ser ainda maior, pois, a depender do tipo, cada ciclo de terapia pago pode envolver até dez deslocamentos de ida e volta para realizar procedimentos.

Apesar do potencial de otimização identificado, a pequena diferença parece demonstrar que a distância geográfica é um critério preponderante na definição das relações referência-referenciado na rede estudada. No período de oito anos analisados, houve aumento na demanda (Figura 2), possivelmente decorrente da ampliação do acesso pela maior capacidade de oferta: incorporação de quatro serviços no período analisado e ampliação dos existentes. Essa constatação e o resultado obtido corroboram o uso do modelo de transportes como ferramenta de apoio à conformação de redes temáticas de atenção à saúde.

Na conformação de redes de quimioterapia ²⁷, a relação referência-referenciado é definida com base na população adstrita e no número mínimo de procedimentos, sem fixação de distâncias ou tempos máximos para o acesso. Estudo anterior sobre deslocamentos de crianças e adolescentes com câncer para atendimento no SUS aponta que residentes em um raio de 100km do serviço de saúde têm maior facilidade de acesso ao tratamento, mas que há dificuldades até para eles, pela necessidade de repetição dos procedimentos quimioterápicos ¹⁰.

Mesmo na situação otimizada, seis municípios de referência apresentaram distâncias médias percorridas superiores a 100km (Tabela 2), que podem ser explicadas por grande extensão territorial do município de referência e dos de seu entorno (caso de Uruguaiana), e também pela grande quantidade de pequenos municípios no entorno do município de referência, como é o caso dos outros cinco. Nesse sentido, aspectos geográficos impossibilitam uma relação de compromisso capaz de atender simultaneamente aos parâmetros legais e à redução das distâncias médias abaixo de 100km, prevalecendo os primeiros.

É importante destacar algumas possíveis limitações. Em relação à técnica utilizada, a falha no atendimento aos pressupostos da programação linear ^{22,23,24} (proporcionalidade, aditividade, continuidade, certeza e escolhas finitas) pode reduzir a precisão dos resultados obtidos, especialmente na presença de comportamentos não lineares e estocásticos. Em relação à aplicação da técnica, os resultados identificados prescindem de aumento e/ou redução seletiva da quantidade de procedimentos, o que pode exigir alterações em área física, equipamentos e recursos humanos. Contudo, essas alterações podem ser feitas de forma seletiva e incremental, pois a rede apresenta tendência de crescimento superior a mil procedimentos anuais. Além disso, para o acesso geográfico, considerou-se que as distâncias adotadas são equivalentes às diferentes modalidades de transporte utilizadas na prática e ao uso do tempo de deslocamento. Outra limitação está relacionada ao fato de não se ter realizado comparação da aplicação do modelo de transportes no planejamento de redes temáticas de serviços de saúde com outras pesquisas, dado o ineditismo do estudo realizado.

Espera-se que a implantação de redes gere uma ação colaborativa entre serviços que compartilham os mesmos fins, para aprimorar o acesso, reduzir custos, alcançar igualdade na distribuição de serviços e maior eficiência do uso dos recursos e meios ³⁰, bem como para melhorar a saúde de uma população e ofertar atenção integral, igualitária e contínua, no tempo certo, ao custo certo, com a qualidade certa, eficiente ^{3,4}, com a integração de ações e serviços de saúde humanizados e responsáveis ³⁰.

A despeito das múltiplas definições do termo “redes”, de não ser ponto pacífico a compreensão sobre elas ^{31,32}, e de a legislação preconizar sua adoção, a ênfase dada na literatura é sobre a caracterização dos elementos componentes e resultados esperados em detrimento do processo de conformação, da proposição de ferramentas objetivas e da avaliação dos resultados alcançados. Destarte, a sua conformação se apresenta como um desafio ainda a demandar desenvolvimento teórico e metodológico, para que suas contribuições para a qualificação da atenção à saúde sejam conhecidas mediante “evidências empíricas sobre seus efeitos práticos”, bem como “*analisar aproximações e distanciamentos entre a idealidade conceitual e a materialidade das redes no cotidiano dos serviços e programas que compõem o sistema*” ³² (p. 2).

Considerar a acessibilidade geográfica medida em distância é uma possibilidade de aproximação aos efeitos para os próprios pacientes, que devem ter a centralidade no processo de planejamento, principalmente em se tratando de procedimentos eficazes e que devem ser repetidos em um determinado período de suas vidas, tal como a quimioterapia antineoplásica. A distância percorrida até o centro de tratamento não pode representar um desafio adicional a ser enfrentado pelo paciente ¹⁷ e seus familiares.

A distribuição dos serviços que compõem as redes regionalizadas e integradas de atenção à saúde nas regiões deve atender a critérios de economia de escala, escopo e acessibilidade ³³. A impossibilidade de ofertar serviços de maior aporte tecnológico em todos os municípios do país, situação que produziria subutilização e ineficiência, gera a necessidade de conformação de redes temáticas organizadas para operar sinergicamente. Esse fato tem como consequência implícita a necessidade de os pacientes se deslocarem aos municípios de referência, na busca por atendimento e tratamento, o que não se constitui em si em uma fragilidade da organização na forma de rede.

A atual conformação da rede UNACON-RS é resultado do ajuste consolidado ao longo de anos, obtido em um processo de pactuação e contratualização reforçado desde a Política Nacional de Atenção Oncológica, de 2005 ³⁴, à legislação vigente sobre a Política Nacional para a Prevenção e Controle do câncer, na Rede de Atenção à Saúde das Pessoas com Doenças Crônicas, no âmbito do SUS ³⁵, bem como ao previsto na caracterização dos serviços de alta complexidade para o diagnóstico e tratamento oncológico no Brasil ⁹. Considerando que essa conformação seja o resultado da aplicação de um conjunto amplo de critérios ^{3,4,30}, ela não se apresentou muito diferente (85,6%) daquela obtida pela otimização baseada exclusivamente pela distância percorrida, o que parece indicar que esta é um adequado *proxy* para o estudo e a conformação de RAS.

A regionalização nos espaços de gestão do SUS pode ser conceituada como processos políticos, organizados para buscar respostas regionais a problemas de saúde, territorialmente contextualizados, devendo os problemas identificados a partir de necessidades localmente definidas ter respostas que incidam na obtenção de efetivas melhoras nas condições de vida e saúde, em cada lugar ³⁶. Parte dessas respostas é dada por redes temáticas que, idealmente, devem possuir uma quantidade de serviços distribuídos geograficamente para reduzir o esforço com deslocamentos que impõem um custo social e financeiro aos pacientes, aos municípios que precisam realizar o transporte e ao SUS como um todo. Esse ajuste não é simples e acarreta a necessidade de se considerarem as diferentes localidades à luz, não apenas da oferta de serviços, mas também da procedência dos demandantes, de forma a promover maior equidade no acesso geográfico. Há de se considerar, portanto, a necessidade de um ajuste global da rede, mesmo que em detrimento de ajustes locais/regionais.

Na prática, o processo de conformação das redes temáticas de atenção à saúde segue uma lógica inversa, sendo resultado da consolidação de vários ajustes locais obtidos nas Comissões Intergestores Regionais (CIR), posteriormente validados na Comissão Intergestores Bipartite (CIB) ^{3,4,8,37}. Esse processo ascendente pode produzir ajustes ótimos locais em algumas regiões em detrimento de outras, mas tende a produzir um ótimo global inferior àquele obtido ao se considerar simultaneamente todos os nós da rede.

Além de possíveis práticas clientelistas e fisiológicas que se fazem presentes na administração pública brasileira, o processo de contratualização mediado por colegiados regionais de gestão reproduz assimetrias de poder, e eles são atravessados pelos interesses dos diferentes municípios e pela maior ou menor capacidade de articulação da instância estadual. Isso tem gerado propostas de qualificação e responsabilização sanitária dos municípios e estados para uma gestão mais republicana dos espaços regionais e, até mesmo, de criação de uma nova forma de gestão tripartite do SUS, pelo esgotamento do modelo atual, regional e de base autárquica, não mais com base municipal, como forma de reverter a fragmentação atual do sistema ³⁸.

A aplicação de ferramentas técnicas, tal como a utilizada neste estudo, pode reduzir a possibilidade de decisões clientelistas e localmente otimizadas. A identificação de um ajuste ótimo para toda a rede pode auxiliar a responder questões operacionais por ocasião do estabelecimento da rede e, ao longo do tempo, para novas unidades a serem instaladas e para novos fluxos e volume de atendimento nas existentes. Não se pretende anular o componente político do planejamento em saúde, ainda mais necessário em uma federação em que cuidar da saúde é competência comum a todos os entes, mas contribuir para reduzir uma potencial lacuna no planejamento, uma atividade técnico-política, e prover uma fundamentação que auxilie a gestão responsável pela regulação.

Os serviços de saúde podem ser considerados um campo de pesquisa de problemas sociais complexos que requerem abordagens multidisciplinares e multidimensionais consistentes com o paradigma revolucionário, crítico e emancipatório na aplicação de pesquisa operacional, de modo a superar os obstáculos à sua implementação, pelo processo de tomada de decisão política ³⁹. A opção pelo modelo de transporte respeita a organização atual da rede e preserva a localização dos serviços de

saúde, diferenciando-se de outras técnicas que, após aplicadas, demandam mudança com inserção/supressão de origens e destinos ou o redesenho do espaço territorial. Além disso, representa a adoção da perspectiva dos pacientes para a organização da rede ao indicar um ajuste global ótimo que produz menor distância total percorrida para a realização dos transportes necessários.

A construção de redes temáticas de saúde que atendam à população de maneira equânime, com qualidade e acesso geográfico, é um dos desafios a ser enfrentado. A abordagem adotada mostrou potencial para aplicação a outras redes temáticas de atenção à saúde ou à otimização simultânea de mais de uma rede, independentemente dos seus tamanhos. Como extensão deste trabalho, poderiam ser utilizadas restrições às distâncias médias a serem percorridas na rede e o impacto da inserção seletiva de novas UNACON na busca de distâncias médias percorridas ainda menores. Sugere-se, para trabalhos futuros, a utilização de programação matemática na investigação de outras RAS, podendo ainda ser utilizados modelos hierárquicos multiníveis.

Colaboradores

M. Battesini trabalhou na concepção, delineamento, análise e interpretação dos dados e na redação do artigo. H. S. Coelho trabalhou no delineamento, análise e interpretação dos dados e na redação do artigo. M. H. De Seta trabalhou na redação, na revisão da literatura e na revisão crítica do artigo. Todos os autores aprovaram a versão final.

Referências

1. Organización Panamericana de la Salud. Redes integradas de servicios de salud basadas en la atención primaria de salud. Washington DC: Organización Panamericana de la Salud; 2009.
2. Lima LD, Viana ALD, Machado CV, Albuquerque MV, Oliveira RG, Iozzi FL, et al. Regionalização e acesso à saúde nos estados brasileiros: condicionantes históricos e político-institucionais. *Ciênc Saúde Coletiva* 2012; 17:2881-92.
3. Mendes EV. As redes de atenção à saúde. 2ª Ed. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde; 2011.
4. Mendes EV. As redes de atenção à saúde. *Ciênc Saúde Coletiva* 2010; 15:2297-305.
5. Lavras C. Atenção primária à saúde e a organização de redes regionais de atenção à saúde no Brasil. *Saúde Soc* 2011; 20:867-74.
6. Kuschnir R, Chorny AH. Redes de atenção à saúde: contextualizando o debate. *Ciênc Saúde Coletiva* 2010; 15:2307-16.
7. Ministério da Saúde. Portaria nº 4.279, de 30 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes para organização da Rede de Atenção à Saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde. *Diário Oficial da União* 2010; 31 dez.
8. Brasil. Decreto Presidencial nº 7.508, de 28 de junho de 2011. Regulamenta a Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990, para dispor sobre a organização do Sistema Único de Saúde, o planejamento da saúde, a assistência à saúde e a articulação interfederativa. *Diário Oficial da União* 2011; 29 jun.
9. Ministério da Saúde. Portaria nº 741, de 19 de dezembro de 2005. Define Unidades de Assistência de Alta Complexidade em Oncologia, Centros de Assistência de Alta Complexidade em Oncologia e Centros de Referência em Alta Complexidade em Oncologia. *Diário Oficial da União* 2005; 23 dez.
10. Graboys MF, Oliveira EXG, Carvalho MS. Assistência ao câncer entre crianças e adolescentes: mapeamento dos fluxos origem-destino no Brasil. *Rev Saúde Pública* 2013; 47:368-78.
11. Silva Júnior ES, Medina MG, Aquino R, Fonseca ACF, Vilasbôas ALQ. Acessibilidade geográfica à atenção primária à saúde em distrito sanitário do município de Salvador, Bahia. *Rev Bras Saúde Matern Infant* 2010; 10 Suppl 1:S49-60.

12. Oliveira EXG, Melo ECP, Pinheiro RS, Noronha CP, Carvalho MS. Acesso à assistência oncológica: mapeamento dos fluxos origem-destino das internações e dos atendimentos ambulatoriais. O caso do câncer de mama. *Cad Saúde Pública* 2011; 27:317-26.
13. Sanchez RM, Ciconelli RM. Conceitos de acesso à saúde. *Rev Panam Salud Pública* 2012; 31:260-8.
14. Gomes RM. Redes de atenção à saúde no SUS: 25 anos de uma contradição fundamental entre a organização necessária e a organização atual. *Saúde Debate* 2014; 38:938-52.
15. Cecilio LCO, Andrezza R, Carapinheiro G, Araújo EC, Oliveira LA, Andrade MGG, et al. A Atenção Básica à Saúde e a construção das redes temáticas de saúde: qual pode ser o seu papel? *Ciênc Saúde Coletiva* 2012; 17:2893-902.
16. Vasconcellos MM. Modelos de localização e sistemas de informações geográficas na assistência materna e perinatal: uma aplicação no Município do Rio de Janeiro [Tese de Doutorado]. Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia; Universidade Federal do Rio de Janeiro; 1997.
17. Galvão RD, Nobre FF, Vasconcellos MM. Modelos matemáticos de localização aplicados à organização espacial de unidades de saúde. *Rev Saúde Pública* 1999; 33:422-34.
18. Cirino S, Gonçalves LA, Gonçalves MB, Cursi ES, Coelho AS. Avaliação de acessibilidade geográfica em sistemas de saúde hierarquizados usando o modelo de p-medianas: aplicação em Santa Catarina, Brasil. *Cad Saúde Pública* 2016; 32:e00172614.
19. Miguel PAC. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2012.
20. Gil AC. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Editora Atlas; 2008.
21. Miguel PAC. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Produção* 2007; 17:216-29.
22. Lachtermacher G. Pesquisa operacional na tomada de decisões. 4ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall; 2009.
23. Ragsdale CT. Modelagem e análise de decisão. São Paulo: Cengage; 2009.
24. Hillier FS, Lieberman GJ. Introdução à pesquisa operacional. 9ª Ed. São Paulo: McGraw-Hill; 2013.
25. Ministério da Saúde. Portaria nº 1.631, de 1º de outubro de 2015. Aprova critérios e parâmetros para planejamento e programação de ações e serviços de saúde no âmbito do SUS. *Diário Oficial da União* 2015; 02 out.
26. Secretaria Estadual da Saúde. Resolução CIB/RS, nº 108/13. <http://www.saude.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20170251/23105147-1366219550-cibr108-13.pdf> (acessado em 12/Ago/2017).
27. Ministério da Saúde. Portaria nº 140, de 27 de Fevereiro de 2014. Redefine critérios e parâmetros para organização, planejamento, monitoramento, controle e avaliação dos estabelecimentos de saúde habilitados na atenção especializada em oncologia e define as condições estruturais, de funcionamento e de recursos humanos para a habilitação destes estabelecimentos no âmbito SUS. *Diário Oficial da União* 2014; 28 fev.
28. Ministério da Saúde. Portaria GM nº 1101, de 12 de junho de 2002. Institui os parâmetros de cobertura assistencial estabelecidos pelo SUS. *Diário Oficial da União* 2002; 13 jun 2002
29. Secretaria Estadual da Saúde do Rio Grande do Sul. Plano Estadual de Saúde: 2012/2015. <http://www.saude.rs.gov.br/plano-estadual-de-saude> (acessado em 12/Ago/2017).
30. Silva SF, organizador. Redes de atenção à saúde: desafios da regionalização do SUS. São Paulo: Saberes; 2013.
31. Organização Pan-Americana da Saúde. Gestão de redes na OPAS/OMS Brasil: conceitos, práticas e lições aprendidas. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde; 2008.
32. Amaral CEM, Bosi MLM. Network as transconcept: elements for a conceptual demarcation in the field of public health. *Rev Saúde Pública* 2016; 50:51.
33. Silva SF. Organização de redes regionalizadas e integradas de atenção à saúde: desafios do Sistema Único de Saúde (Brasil). *Ciênc Saúde Coletiva* 2011; 16:2753-62.
34. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.439, de 08 de dezembro de 2005. Institui a Política Nacional de Atenção Oncológica: promoção, prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação e cuidados paliativos, a ser implantada em todas as unidades federadas, respeitadas as competências das três esferas de gestão. *Diário Oficial da União* 2005; 9 dez.
35. Ministério da Saúde. Portaria nº 874, de 16 de maio de 2013. Institui a Política Nacional para Prevenção e Controle do Câncer na rede de atenção à saúde das pessoas com doenças crônicas no âmbito do Sistema Único de Saúde. *Diário Oficial da União* 2013; 17 mai.
36. Ribeiro PT. Perspectiva territorial, regionalização e redes: uma abordagem à política de saúde da República Federativa do Brasil. *Saúde Soc* 2015; 24:403-12.
37. Ribeiro JM. Conselhos de saúde, comissões intergestores e grupos de interesses no Sistema Único de Saúde (SUS). *Cad Saúde Pública* 1997; 13:81-92.
38. Kalichman AO, Ayres JC. Integralidade e tecnologias de atenção à saúde: uma narrativa sobre contribuições conceituais à construção do princípio da integralidade no SUS. *Cad Saúde Pública* 2016; 32:e00183415.
39. Lobo MSC, Lins MPE. Epistemic dialog between health services and operations research. *Pesquisa Operacional* 2010; 30:371-86.

Abstract

This article discusses the configuration of specialized healthcare networks and aims to analyze the potential for optimization of geographic access in the chemotherapy network of the Brazilian Unified National Health System (SUS) in Rio Grande do Sul State, Brazil, using linear programming. The study used ex post facto mathematical modeling with an analytical objective and a qualitative-quantitative approach, using data collection and literature and document searches as the procedures. The potential for optimization was assessed by the percentage difference between the total distances traveled under the current situation and the optimum solution obtained. The results with the optimized situation included a decrease of 293,246km (14.4%) in the total monthly distance traveled in the network, or a mean reduction of 13.02km per procedure performed, compared to the current distance traveled. This gain would be obtained by redistribution of the municipalities of origin and the referral services' capacity to supply procedures. The results point to great potential for optimization of the target network, proving that linear programming can provide technical support for the configuration of new specialized thematic healthcare networks and optimization of the existing networks.

Health Services Accessibility; Drug Therapy; Health Planning; Linear Programming

Resumen

Este artículo discute la conformación de redes temáticas de atención a la salud, y tiene como objetivo analizar el potencial de optimización del acceso geográfico a la red de quimioterapia del Sistema Único de Salud (SUS), en el Estado de Rio Grande do Sul, Brasil, con el uso de una programación lineal. Se trata de un estudio de modelado matemático ex post facto, con un objetivo analítico y enfoque cuali-cuantitativo, que utilizó como procedimientos de recogida la investigación bibliográfica y documental. El potencial de optimización se evaluó por la diferencia de porcentaje entre las sumas de las distancias recorridas en la red para la situación actual y para la solución óptima obtenida. Entre los resultados identificados en la situación optimizada están la disminución de 293.246km (14,4%) en la distancia total mensual recorrida en la red, correspondiendo a una reducción media de 13,02km por procedimiento realizado, si se compara con la actual distancia recorrida, que debe ser obtenida por la redistribución de los municipios de origen y de las capacidades de oferta de procedimientos por los servicios de referencia. Estos resultados indican la existencia de un gran potencial de optimización en la red estudiada, comprobando que el uso de la programación lineal puede ofrecer apoyo técnico al proceso de conformación de nuevas redes temáticas de atención a la salud y a la optimización de las ya existentes.

Accesibilidad a los Servicios de Salud; Tratamiento Farmacológico; Planificación en Salud; Programación Lineal

Recebido em 31/Mar/2017

Versão final rerepresentada em 15/Jan/2018

Aprovado em 26/Jan/2018