

DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E SITUAÇÃO DE ATENDIMENTO DOS EQUIPAMENTOS PET-CT NO BRASIL, CONSIDERADOS OS FATORES DISTÂNCIA E POPULAÇÃO: ESTUDO E PROPOSTA A PARTIR DOS DADOS DO DATASUS.

Felipe Marliere Cabral Ciabattari e Mario Olimpio de Menezes (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

As distâncias aos equipamentos de diagnóstico PET-CT precisam ser reduzidas para que pacientes tenham um rápido diagnóstico de doenças, e como consequência, maior chance de sobrevivência através da detecção e início de tratamento forma precoce.

A utilização do PET-CT não se limita à oncologia, com a aplicação não oncológica mais predominante na neurologia (para diagnósticos relacionados a demência e epilepsia) e na cardiologia (para aferir a viabilidade miocárdica).

Logo, este estudo vai abordar a análise de como estão distribuídos os equipamentos PET-CT no território brasileiro e o que deve ser feito para melhorar o acesso da população a este.

Em paralelo à distribuição dos equipamentos, também é necessário considerar a instalação de pontos de fabricação de radiofármaco.

Dados como Códigos de Endereço Postais (CEPs) das atuais localidades onde existe o aparelho PET-CT de diagnóstico em conjunto com Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde da seção de cadastro de equipamentos do DATASUS foram introduzidos em um algoritmo desenvolvido na linguagem Python, configurado em um ambiente que utiliza as bibliotecas Folium, Pycep e Pandas. Com plotagem de dados em mapas para visualização e análise de resultados.

O Brasil possui uma quantidade insuficiente de PET-CTs para atender de forma adequada às demandas da população em relação aos exames específicos de diagnóstico, proporcionados somente por este equipamento.

Palavras-chave: PET-CT, Algoritmo de localização e distribuição, *DATASUS*.

ABSTRACT

Distances to PET-CT diagnostic equipment need to be reduced so that patients can have a rapid diagnosis of diseases, and as a consequence, have a greater chance of survival through early detection and initiation of treatment.

The use of PET-CT is not limited to oncology, with non-oncological application more prevalent in neurology (for diagnoses related to dementia and epilepsy) and in cardiology (to measure myocardial viability).

Therefore, this study will address the analysis of how PET-CT equipment is distributed in the Brazilian territory and what should be done to improve the population's access to it.

In parallel to the distribution of equipment, it is also necessary to consider the installation of radiopharmaceutical manufacturing points.

Data such as Postal Address Codes (zip codes) of the current locations where the PET-CT diagnostic device exists in conjunction with the National Register of Health Establishments from the equipment registration section of DATASUS were introduced in an algorithm developed in Python language, configured in an environment that uses the Folium, Pycep and Pandas libraries. With data plotting on maps for visualization and analysis of results.

Brazil has an insufficient amount of PET-CTs to adequately meet the demands of the population in relation to specific diagnostic tests, provided only by this equipment.

Keywords: PET-CT, Localization and distribution algorithm, DATASUS.

1. INTRODUÇÃO

O acesso ao atendimento médico é precário no Brasil, principalmente fora das capitais, onde algumas comunidades ficam a extrema distância dos locais de atendimento e muitas vezes não há outra forma de locomoção a não ser a pé.

E quando se trata de atendimento especializado, as dificuldades de acesso são ainda maiores, como no caso do equipamento de diagnóstico PET-CT (Positron Emission Tomography – Computed Tomography) da Figura 1. Hoje o país conta com 119 equipamentos (CNES, 2020) para toda população, e esta longe de atingir a recomendação populacional 1 equipamento a cada 500 mil habitantes. E se considerarmos o fator distância aos equipamentos, ideal que todos habitantes estejam a uma distância máxima de 100 km de um PET-CT, a carência deste equipamento se torna ainda mais evidente.

Figura 1 - Equipamento PET/CT



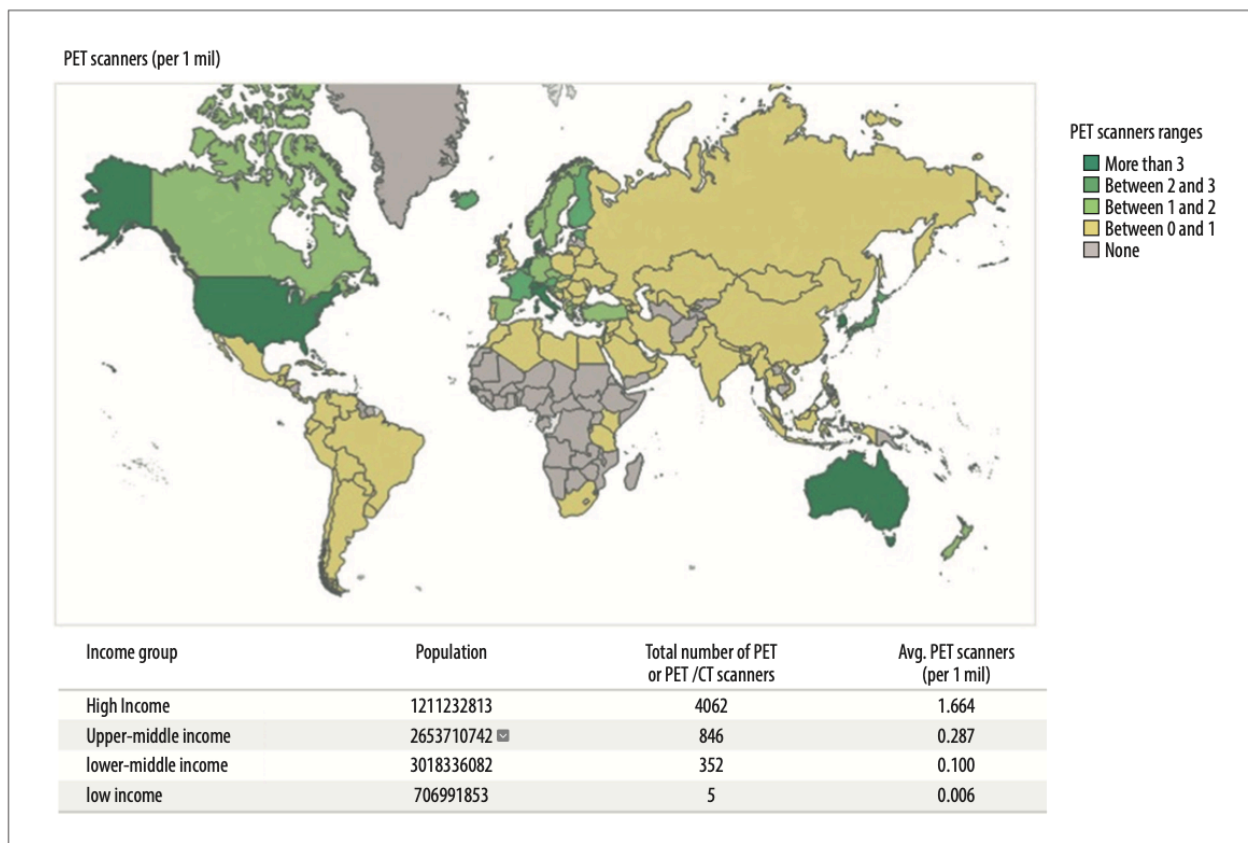
Fonte: <https://www.neusoftmedicallatam.com/portfolio-items/neusight-pet-ct/>

A melhora ao acesso do equipamento PET-CT torna mais rápido o diagnóstico de câncer e o início do tratamento da doença, de forma a minimizar as chances de óbito.

Como aponta o trabalho de Verduzco-Aguirre, Lopes & Soto-Perez-De-Celis (2019), de acordo com Atlas Global de Equipamentos Médicos da Organização Mundial da Saúde, somente 3% dos países de renda média alta, e 4% dos de renda média baixa possuem 1 equipamento PET-CT por milhão de habitantes, comparado com 29% dos países de renda alta. Além disso, 95% dos países de renda baixa e 92% dos países de renda média baixa não tem uma unidade de PET/CT disponível.

Portanto, a população servida por 1 equipamento PET-CT é de aproximadamente: 601.000 em países de renda alta, 3.484.000 em países de renda média alta, 10.000.000 naqueles com renda média baixa, e 166.667.000 em países de renda baixa (Gallach, Lette, Abdel-Wahab, Giammarile, Pellet & Paez (2020)). Estes dados estão representados na Figura 2.

Figura 2 - Equipamentos PET/CT por milhão de habitantes



Fonte: Gallach, Lette, Abdel-Wahab, Giammarile, Pellet & Paez (2020)

Logo, este trabalho visa, através de recursos matemáticos e computacionais, encontrar a quantidade ideal, dentro de restrições de distância e população, de forma a aumentar o acesso dos pacientes aos centros de diagnóstico de câncer que utilizam o equipamento PET-CT.

1.1 Problemas de pesquisa

Este trabalho visa fazer um diagnóstico de como estão distribuídos os equipamentos PET-CT no território brasileiro e mostrar como devemos agir para disponibilizá-los de uma forma mais eficiente.

1.2 Justificativa

As dificuldades de acesso aos equipamentos de diagnóstico de câncer PET-CT precisam ser reduzidas para que pacientes tenham um rápido diagnóstico da doença e, como consequência, maior chance de sobrevivência através da detecção e início de tratamento do câncer de forma precoce.

Os scanners PET (Positron Emission Tomography) e CT (Computed Tomography) combinados foram introduzidos pela primeira vez em 1998. Desde então, pacientes podem

ser examinados por ambos equipamentos ao mesmo tempo sem ter que se deslocar de um para o outro. Esta combinação permite unir a imagem funcional molecular do PET com a imagem de alto contraste anatômico do CT.

A utilização do PET-CT não se limita à oncologia, com a aplicação não oncológica mais predominante na neurologia (para diagnósticos relacionados a demência e epilepsia) e na cardiologia (para aferir a viabilidade miocárdica). Há também uma tendência inicial de indicação para detecção de processos inflamatórios e infecciosos conforme Tabela 1 adaptada do site nucradshare.com (2021). A Tabela 1 mostra todos os possíveis diagnósticos com a utilização do PET-CT e as orientações para realização do exame.

Tabela 1 - Orientações para aplicação do PET/C

INDICAÇÃO	TIPO DE SCANNER	CONTRASTE	PREPARAÇÃO	COMMENTARIOS
Demência	Somente Cérebro (1 Cama)	Sem Contraste	olhos abertos	Firmar cabeça
Convulsao	Somente Cérebro (1 Cama)	Sem Contraste	olhos abertos	Firmar cabeça
Câncer Cabeça/ Pescoço	Standard PET+ Somente Posterior pescoço (se necessário, Somente cérebro posterior)	Somente IV Contraste	Pode haver necessidade de coordenação com Rad Onc	
Câncer Tireóide	Standard PET	Somente IV Contraste	Necessário Thyrogem inc (coordenado com endocrinologia)	
Nodulo Pulmonar	Standard PET + Somente Peito posterior	Somente IV Contraste		
Câncer Pulmão	Standard PET	Somente IV Contraste		
Câncer Mama	Standard PET (imagem provada opcional)	Somente IV Contraste	Injeção contralateral no braço	Dobrar mama para considerar tecido mamario imagem pronada
Câncer Esôfago	Standard PET	IV Contraste + Agua (sobre a mesa) + Esopho-Cat		
Câncer Gastrico	Standard PET	IV Contraste + Agua (sobre a mesa) + Contraste Oral		
Câncer Pancreas	Standard PET	IV Contraste + Contraste Oral	Confirmar BG<130	
Câncer Colorretal	Standard PET	IV Contraste + Contraste Oral		
Câncer Ovario/Cervical/ Endometrial	Standard PET	IV Contraste + Contraste Oral		
Câncer Bexiga	Standard PET + opcional somente posterior pronada da pelvis (1 cama)	IV Contraste + Contraste Oral	SEm necessidade de esvaziar bexiga	
Linfoma	Standard PET	IV Contraste + Contraste Oral		
Linfoma f/u	Standard PET	Normalmente sem contraste		
Melanoma	Da cabeça ao pés (braços para baixo)	Somente IV Contraste		
Mieloma Multiplo	Da cabeça ao pés (braços para baixo)	Somente IV Contraste		
Sarcoma	Da cabeça ao pés (braços para baixo)	Somente IV Contraste		
Ossos	Da cabeça ao pés (braços para baixo)	Sem Contraste	Recomendada hidratação oral antes do scan Não checar BG	Solicitar paciente para ficar de pé e andar para que radiofármaco alcance as extremidades
viabilidade Miocárdica	Bifurcação Carina na base do coração (1 cama)	Sem Contraste	Dextrose/Insulina farmaceutica Necessário enfermeira cardiologica	dose alta obtida apenas MPS -> carga de glucose -> insulina escala deslizante -> injetar FDG quando BG<140 -> esperar 45 minutos -> escanear

Fonte: Adaptada de PET/CT Imaging Guidelines. <https://nucradshare.com/PETCT.html>

Conforme Figura 3, um paciente teve como caso primário um carcinoma nasofaríngeo que expandiu a metástase óssea para o fêmur, tal expansão não foi detectada pelo CT e só pode ser percebida através da combinação de PET/CT.

Figura 3 - Comparativo entre imagens na detecção de cancer ósseo no fêmur.

A - Imagem PET/CT, B - Imagem somente CT

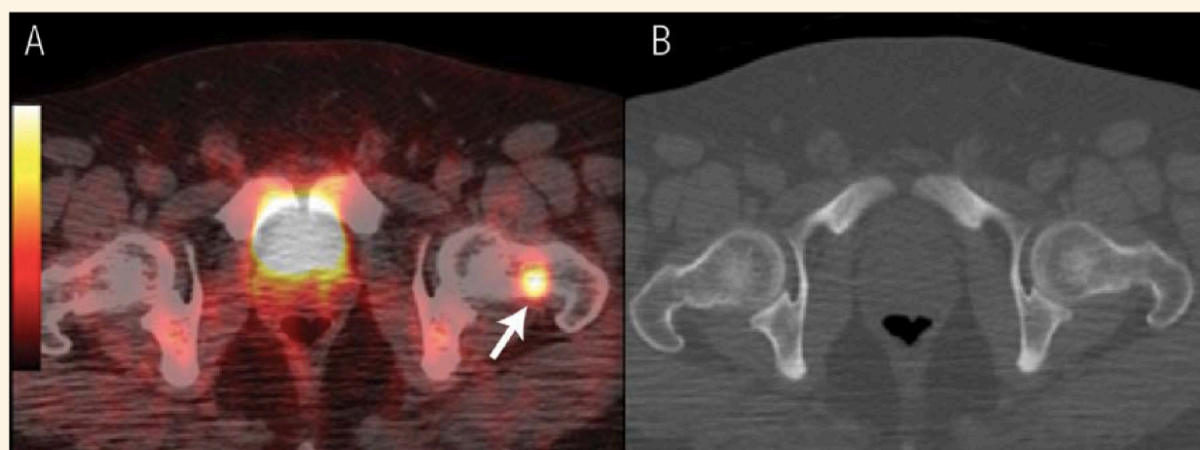


Figure 1 A & B. ^{18}F -fluorodeoxyglucose positron emission tomography (PET) / X-ray computed tomography (CT) for a patient diagnosed with nasopharyngeal carcinoma in which the PET/CT imaging upstaged the disease by revealing a bone lesion that was not detected by CT. **A:** The fused PET/CT image revealed a focal uptake in the neck of the left femur (arrow). **B:** The CT image, bone window, did not show any bone abnormalities. The technetium ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)-methylene diphosphonate (MDP) bone scan of this patient was also negative (images not included).

Fonte: Al-Bulushi, Bailey & Mariani (2013).

Outro fator importante a se considerar em relação à distância é que as unidades com PET-CT precisam estar próximas o suficiente a um centro de distribuição do radiofármaco, o qual deve ser fabricado em um laboratório com diversas demandas específicas para garantir sua qualidade, e após sua produção, deve ser utilizado em até no máximo 110 minutos (radiofármaco tipo ^{18}F -FDG). Os seguintes profissionais qualificados devem estar presentes entre o local de fabricação e aplicação do radiofármaco: físico médico, químico radiológico, farmacêutico radiológico e técnico em medicina nuclear. Portanto, em paralelo à distribuição dos equipamentos, também é necessário considerar a instalação de pontos de fabricação de radiofármaco com proximidade suficiente para que o tempo de vida não seja ultrapassado (Al-Bulushi, Bailey & Mariani, 2013).

Toscas & Nascimento (2020) citam que há dez instituições autorizadas para produção de Radioisótopos (ciclotron):

- CDTN - Unidade de Pesquisa e Produção de Radiofármacos (Belo Horizonte/MG);
- Cyclobras Serviços Laboratoriais (Campinas/SP);
- Cyclopet Radiofarmacos (Curitiba/PR);
- Delfin Fármacos e Derivados (Lauro de Freitas/BA);
- Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP (São Paulo/SP);

- IBF – Indústria Brasileira de Farmoquímicos (São José do Rio Preto/SP);
- R2 Soluções em Radiofarmácia (Porto Alegre/RS);
- UBEA – Hospital São Lucas – Instituto do Cérebro (Porto Alegre/RS);
- Villas Boas Radiofármacos Brasil (Eusébio/CE);
- Villas Boas Radiofármacos Brasil (Brasília/DF)

A Figura 4 mostra a distribuição dos fornecedores de radioisótopos pelo Brasil.

Figura 4 - Distribuição das instalações produtoras de radio-isótopos no Brasil



Fonte: Toscas & Nascimento (2020).

1.3 Objetivo

O objetivo principal foi realizar uma análise da distribuição geográfica dos equipamentos PET-CT e evidenciar a situação de atendimento à população, em termos de distância a estes equipamentos, e densidade de equipamentos para população. Como objetivos específicos, temos:

- análise da evolução temporal do número de equipamentos PET-CT de 2001 a 2020;
- identificação da localização dos equipamentos no Brasil;
- determinação da população na microrregião (considerados 100 km de raio);
- determinação da densidade de equipamentos para população da microrregião;

- definir dentro de limites de deslocamento e faixas regionais, quantas pessoas estão desassistidas e, em consequência disso, quantos equipamentos PET-CT precisariam ser instalados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Javid, Seyedi & Syam (2016) a teoria de localização de instalações refere-se a modelagem, formulação e métodos de solução de uma classe de problemas que lida com a localização de instalações em determinado espaço.

Ainda conforme Javid, Seyedi & Syam (2016) os principais objetivos dos estudos de localização de instalações de cuidados para saúde são a minimização de custos e a eficácia e eficiência das instalações públicas de cuidados para saúde influenciadas pelas suas localizações dentro das comunidades, sendo este um dos principais problemas políticos discutidos nos sistemas nacionais de saúde.

Eles também fazem alguns apontamentos em relação a determinados tipos de alocação como, por exemplo, para localização de centros de emergência citam que existe uma falta de hierarquia nos modelos de localização das instalações, quando os casos poderiam ser classificadas em diferentes níveis de tratamento dependendo de condições pré-determinadas. Além disso, é necessária maior clareza em relação aos fatores custo e restrições. Em relação à determinação de locais para localização de ambulâncias, comentam que quatro fatores são primordiais: previsão de demanda, tempo de resposta, carga de trabalho e monitoramento de performance.

Na conclusão de sua análise sobre os estudos de localização mostram que a maioria dos trabalhos lida com o *tradeoff* entre melhores resultados e menores custos.

Uma outra abordagem é apresentada por Kunkel, Van Itallie & Wu (2014), que realizaram um estudo para melhorar a localização de instalações de primeiros socorros, tanto móveis como fixas, no Malawi. Como no estudo anterior, comentam que muitos estudos focam em um único tipo de instalação e não consideram as restrições.

A princípio, Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) encaixaram a análise em um problema de média p , o qual minimiza a média de distâncias balanceadas por peso entre pontos e provedores, média p é apropriado para casos em que a distância é ponto principal. Eles determinaram uma distância limite de 100 km entre os usuários e os locais de atendimento, o que permitiu somente a geração de variáveis para conexões menores que 100 Km.

O software Gurobi foi utilizado por Kunkel, Van Itallie & Wu (2014), este software trabalha com um algoritmo do tipo *Branch - and - Cut*, o qual busca diminuir o *gap* entre o melhor objetivo conhecido para uma solução viável e o melhor limite.

Ao descrever um problema de média p , Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) elucidam que o objetivo é encontrar a localização que minimiza a distância média em uma rede de n vértices, e que pode ser formulado e resolvido como um programa de binários inteiros.

No problema de Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) cada nó representa a centróide de uma localidade e seu peso determinado pela demanda associada a cada nó. Especificamente, a demanda a cada localidade corresponde a:

- População em geral e abaixo de 5 anos;
- Setores rurais e urbanos;
- Proximidade a um centro de saúde.

Por fim, a distância entre vértices, distância mais curta entre nós, é representada pela distância mais curta entre os centróides das localidades.

O modelo resultou em uma distância média entre a localidade e o local de atendimento de no mínimo 0.46 Km e no máximo 4.4 Km, uma distância aceitável mesmo se o caminho for feito a pé. Foram direcionadas o máximo de 5 localidades a um local de atendimento. Isto foi calculado sem gap incluso no software Gurobi e com um tempo de 81 segundos de processamento.

Para adicionar os custos ao estudo Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) utilizaram um problema de capacidade de localização de instalações (CFPL - *Capacitated Facility Location Problem*), neste modelo um potencial grupo de localização de instalações e um grupo de clientes foi dado. O problema visa minimizar o custo total das alocações de instalações e ligadas aos pacientes. O custo total inclui a variável custo de viagem entre instalação e paciente, e o custo fixo de abertura de novas instalações. Cada possível localização tem um limite superior de capacidade de fornecimento. A CFPL, com cada cliente ligado a uma única instalação, pode ser formulada como um programa de binários inteiros com duas variáveis de decisão, onde o *paciente j* é servido pela instalação *i* , e *y_i* , onde a instalação está localizada.

O CFPL associa-se ao modelo de resolução de problemas de distância por média p (PMLP - *p-median location problems*) para complementar a parte de determinação das alocações junto aos custos.

No CFPL o foco é a variável custo, enquanto na média p , está presente d , focado na distância ideal, cruzada com os dados de demanda.

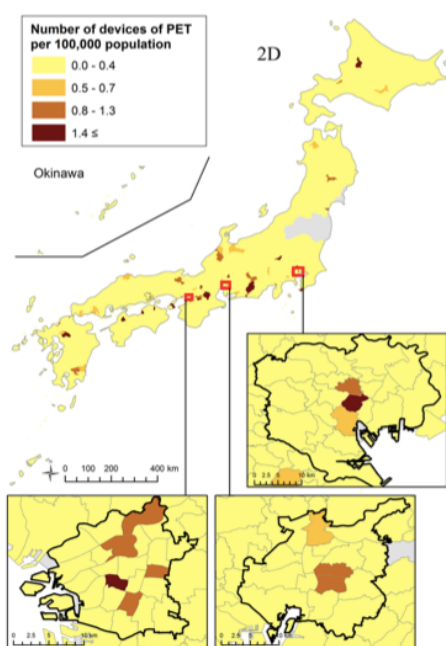
Quando ligadas instalações móveis a pacientes, foram consideradas as instalações móveis como instalações e os pacientes como clientes.

Em seu trabalho Gu, Wang, McGregor & Elizabeth (2010) utilizaram o *Google Maps Application Programming Interface (API)* para estimar a distância e o tempo médios de viagem até o local de atendimento, este API leva em consideração regras de tráfego.

Uma observação do estudo de Zhang, Berman, Marcotte & Verter (2010) aponta a necessidade de considerar como restrição a capacidade de análise diária do(s) radiologista(s) responsáveis, já que isto pode causar uma demanda excessiva em determinado centro de atendimento. Eles dão como exemplo o ano de 1999 em que um radiologista teria que interpretar pelo menos 960 mamografias e um técnico em radiologia fazer 200 exames em 24 meses para manterem sua acreditação.

O trabalho de Matsumoto, Koike, Kashima e Awai (2015) é mais próximo ao que será utilizado na metodologia deste estudo, eles calcularam o número de equipamentos disponíveis no território japonês e examinaram sua distribuição geográfica. Para tal, dividiram os 1289 municípios japoneses (dados de 2015) em 3 tipos: metrópoles (n = 193), cidades (n = 752) e vilas e vilarejos (n = 884). Metrópoles tem população maior que 500 mil habitantes, cidades tem população maior do que 50 mil habitantes e vilas e vilarejos tem uma população de até 50 mil habitantes. Logo, realizaram o cálculo e a plotagem no mapa de quantos equipamentos estão disponíveis para cada grupo de 100 mil habitantes, Figura 5.

Figura 5 - Distribuição geográfica dos equipamentos PET-CT e quantidades a cada 100 mil habitantes no Japão.



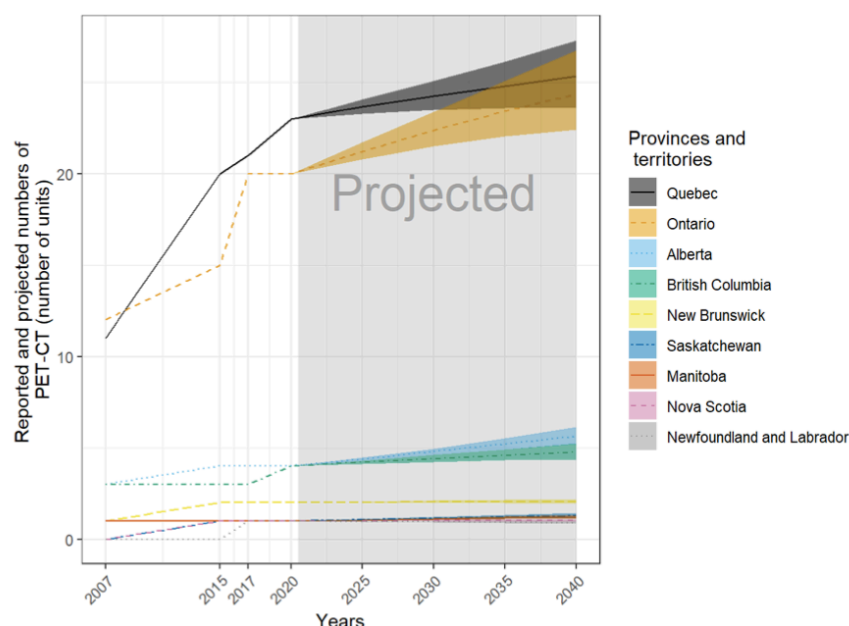
Fonte: Matsumoto , Koike, Kashima e Awai (2015).

O resultado deste estudo mostrou que existe uma substancial disparidade na distribuição geográfica dos equipamentos PET-CT no Japão. E quanto maior a população de determinada região melhor é a disponibilidade de equipamentos.

Em relação ao número de equipamentos recomendados, não existe um consenso, e as taxas por habitante variam de país para país, o *Royal College of Radiologists* recomenda

em 2005 uma taxa de 1 PET-CT para cada 1-1,5 milhão de habitantes. Já Al-Bulushi, Bailey & Mariani (2013), apresentam que alguns países da Europa e os Estados Unidos possuíam 1 equipamento a cada 300-900 mil habitantes, e que a taxa de demanda por equipamentos aumentaria em 20% ao ano a partir de 2014. Outro estudo da CADTH (*Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health*, 2020) apresenta no mínimo estabilidade, e forte tendência de crescimento no número de unidades PET-CT entre 2025 e 2040, conforme Figura 6, mesmo em cidades como Quebec e Ontario onde hoje o número de equipamentos já possibilita uma taxa entre 300-800 mil habitantes por equipamento (Figura 7).

Figura 6 - Projeção de unidades PET-CT para os anos de 2025, 2030, 2035 e 2040 no Canada.



Fonte: CHAO, Yi-Sheng et al. *Canadian Medical Imaging Inventory, 2019–2020* (2021).

Figura 7 - Dados referentes à disponibilidade de PET-CT no Canada.

Province or territory	Units with data ^a (free-standing sites) ^a	All units ^b	Total exams	Exams per unit	Population ^c	Exams per thousand population
Alberta	4 (0)	4	12,175 ^d	3,043.8	4,395,586	2.8
British Columbia	4 (1)	4	11,286	2,821.5	5,105,576	2.2
Manitoba	1 (0)	1	2,180	2,180.0	1,373,859	1.6
New Brunswick	2 (0)	2	2,149 ^c	1,074.5	780,021	2.8
Newfoundland and Labrador	1 (0)	1	1,704 ^c	1,704.0	521,922	3.3
Northwest Territories	0 (0)	0	0	0	44,895	0.0
Nova Scotia	1 (0)	1	2,818	2,818.0	976,768	2.9
Nunavut	0 (0)	0	0	0	38,873	0.0
Ontario	20 (3)	20	23,564	1,178.2 ^e	14,659,616	1.6
Prince Edward Island	0 (0)	0	0	0	157,901	0.0
Quebec	23 (3)	23	67,849 ^c	2,950.0	8,522,800	8.0
Saskatchewan	1 (0)	1	2,050 ^c	2,050.0	1,178,657	1.7
Yukon	0 (0)	0	0	0	41,022	0.0
Canada	57 (7)	57	125,775	2,206.6	37,797,496	3.3

PET-CT = positron emission tomography-computed tomography.

^a Data derived from number of units with technical details (make, model, first year of operation, and status as decommissioned/non-decommissioned).

^b Data derived from the survey question: "For all [modality] units, how many examinations on average were conducted in the last fiscal year?"

^c The population (estimated) as of fourth quarter, 2019.²³

^d Fiscal year 2018–2019.

^e In Ontario, some units serve specialized populations (pediatrics, more remote communities) that perform fewer exams. Other sites can perform higher volumes of exams.

Fonte: CHAO, Yi-Sheng et al. *Canadian Medical Imaging Inventory, 2019–2020* (2021).

3. METODOLOGIA

Para designar a melhor distribuição para os equipamentos de diagnóstico de câncer PET-CT oncológico foi desenvolvido um programa na linguagem Python, configurado em um ambiente que utiliza as seguintes bibliotecas:

- Pycep (biblioteca dos correios do Brasil): determina coordenadas no mapa através de CEP de estabelecimentos;
- Pandas: manipula dados em tabelas;
- Geopandas: manipula dados em formato de códigos de região e coordenadas;
- Folium: gera e configura objetos em mapas.

As bases de dados para inserção no algoritmo foram os Códigos de Endereço Postais (CEPs) das atuais localidades onde existe o aparelho PET-CT de diagnóstico. Estes CEPs são obtidos através do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES, Dezembro / 2020), pertencente a seção de cadastro de equipamentos do DATASUS. No cadastro CNES também estão disponíveis as datas de cadastro dos equipamentos, dado que foi utilizado para obter a evolução do número de PET-CTs no país ao longo dos anos.

Para determinação da densidade populacional foram criados grupos, a partir de uma cidade de referência que possui o PET-CT, com todas as cidade dentro de um raio de 100 km. Com os grupos formados foi calculada a população total destes grupos. E por fim, foi dividida a população total dos grupos pelo número de equipamentos PET-CTs encontrados dentro de cada grupo. Conforme Equação 1:

$$\text{População do Grupo de cidades em raio de 100 km de um equipamento PET-CT} = \text{Densidade populacional por equipamento} \times \text{Número de unidades de PET-CT dentro do território do grupo} \quad (1)$$

Com a densidade populacional calculada foi possível mostrar quantos equipamentos são necessários para se atingir uma meta de densidade populacional de PET-CTs (500 mil habitantes por PET-CT) em cada uma dessas regiões que já possuem PET-CT em um raio de 100 km de distância.

Para os dados populacionais dentro das microrregiões onde estão localizados os PET-CT foram utilizadas bases do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, Cidades-Panorama 2021). Os dados do Instituto de Pesquisa e Estatística (IPEADATA, Distância à capital estadual para os municípios da divisão político administrativa vigente em 2000) e site Timenow (Fevereiro / 2021) contribuíram para identificar as cidades abrangidas dentro de um raio de 100 km de um equipamento PET-CT.

A determinação da quantidade de equipamentos para as regiões que não foram contempladas nos grupos com equipamentos em um raio de 100 km foi feita conforme a seguinte sequência de operações:

- Determinação da população não assistida por um equipamento PET-CT através da subtração da população contemplada nos grupos da população total do Brasil. Conforme Equação 2:

População Total do Brasil em 2021 - População contemplada nos Grupos = Pop. não assistida por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km (2)

- Determinação do território não assistido por um equipamento PET-CT em um raio de 100 km. Para determinar este valor foi subtraído o território contemplado nos grupos do território tal do Brasil. Conforme Equação 3:

Território total do Brasil em 2021 - Território contemplada nos Grupos = Território não assistido por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km (3)

- Logo, foi determinada a estimativa de PET-CTs adicionais devido ao fator população, através da divisão do resultado da Formula 2 (População não assistida por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km) dividido pela meta de 500 mil habitantes por equipamento. Conforme Equação 4:

$$\frac{\text{População não assistida por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km}}{500 \text{ mil habitantes}} = \text{estimativa PET-CTs adicionais por população}$$ (4)

- E por fim, foi determinada a estimativa de PET-CTs adicionais devido ao fator distância, através da divisão do resultado da Formula 3 (Território não assistido por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km) dividido pela area da circunferência com raio de 100 km. Conforme Equação 5:

$$\frac{\text{Território não assistida por um equipamento PET-CT em um raio de 100 Km}}{\text{Area do Raio de 100 Km}} = \text{estimativa PET-CTs adicionais por Território}$$ (5)

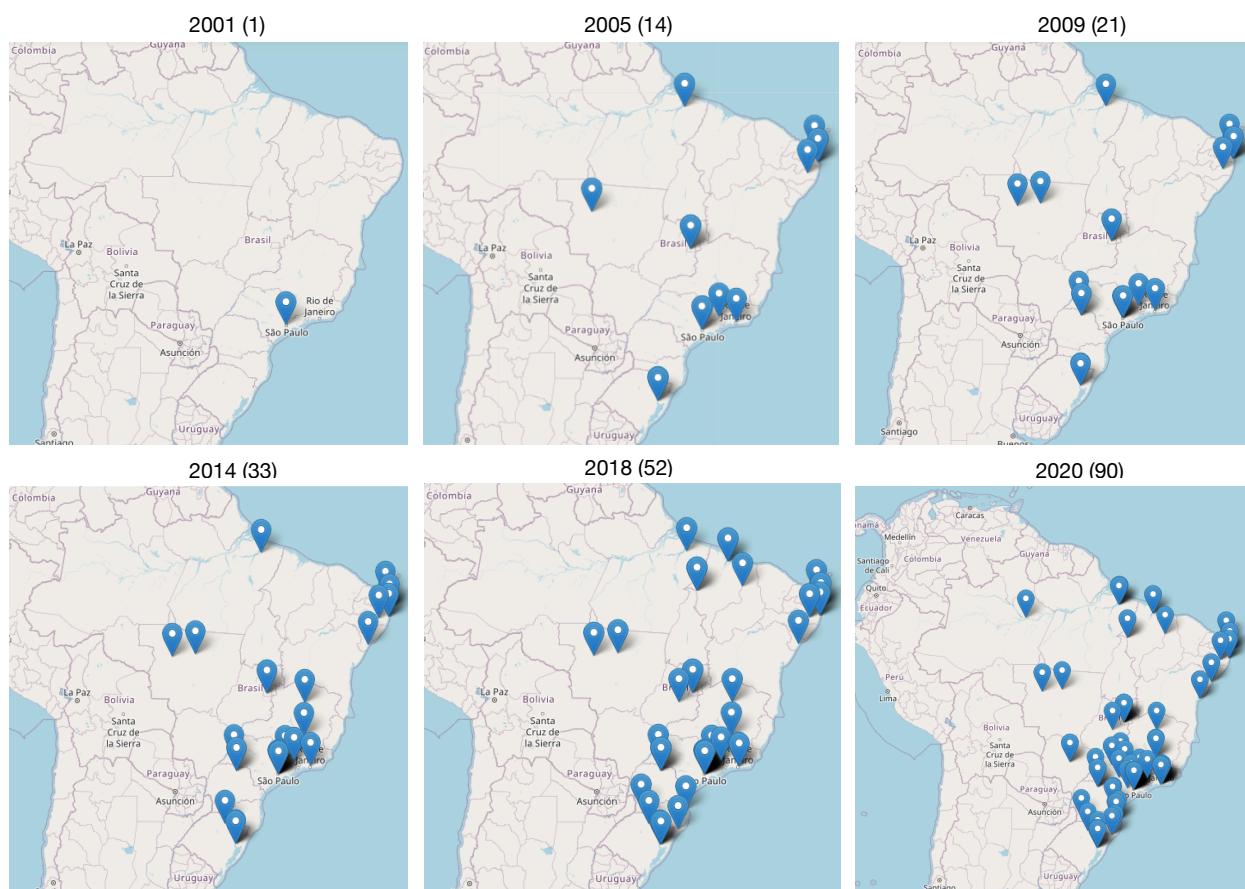
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados, de forma a atender dos objetivos geral e específico conforme descritos no tópico Objetivos do capítulo Introdução, e as discussões em cima destes resultados.

4.1 Evolução de disponibilidade dos estabelecimentos com equipamentos PET-CT

Desde quando chegou o primeiro equipamento PET-CT no Brasil em 2001, o número de estabelecimentos com máquinas disponíveis cresceu, de acordo com a Figura 8, 2001 (1), 2005 (14), 2009 (21), 2014 (33), 2018 (52), 2020 (90), mas ainda não atende a toda a população brasileira de forma eficaz.

Figura 8 - Evolução do número de estabelecimentos disponíveis com PET-CT. 2011 - 2020



Fonte: Autoria Própria. Realizado através da biblioteca folium em linguagem Python.
 Por questões de escala e aproximação, pontos muito próximos não estão visíveis sem ferramentas de aproximação.

4.2 Análise: equipamentos disponíveis dadas restrições de distância e população

Conforme a localização dos equipamentos PET-CT disponíveis no Brasil e suas quantidades (dados obtidos no DATASUS) foram mapeados 37 grupos de regiões. Estes grupos contemplam cidades com distância dentro de até 100 quilômetros de uma máquina PET-CT e seus habitantes (dados de população e distância obtidos pelo IPEADATA, IBGE e site Timenow). Grupos seguem conforme Tabela 2.

Devido a interseções em um raio de 100 km, alguns destes grupos compartilham os mesmos equipamentos, Campinas, por exemplo, possui somente 1 equipamento, mas compartilha 13 outros com São Paulo. Logo, conforme já apresentado neste trabalho o país conta com um total de 119 equipamentos (dezembro /2020).

Os dados obtidos, apresentados na Tabela 2 permitiram plotar o mapa da Figura 9 com o número de pessoas por equipamento dentro deste raio de 100 km e demonstrar quais áreas que, apesar de já possuírem um equipamento, estão mais críticas em relação à quantidade de equipamentos disponíveis.

Tabela 2 - Grupos em um raio de 100 km a partir de equipamento PET-CT

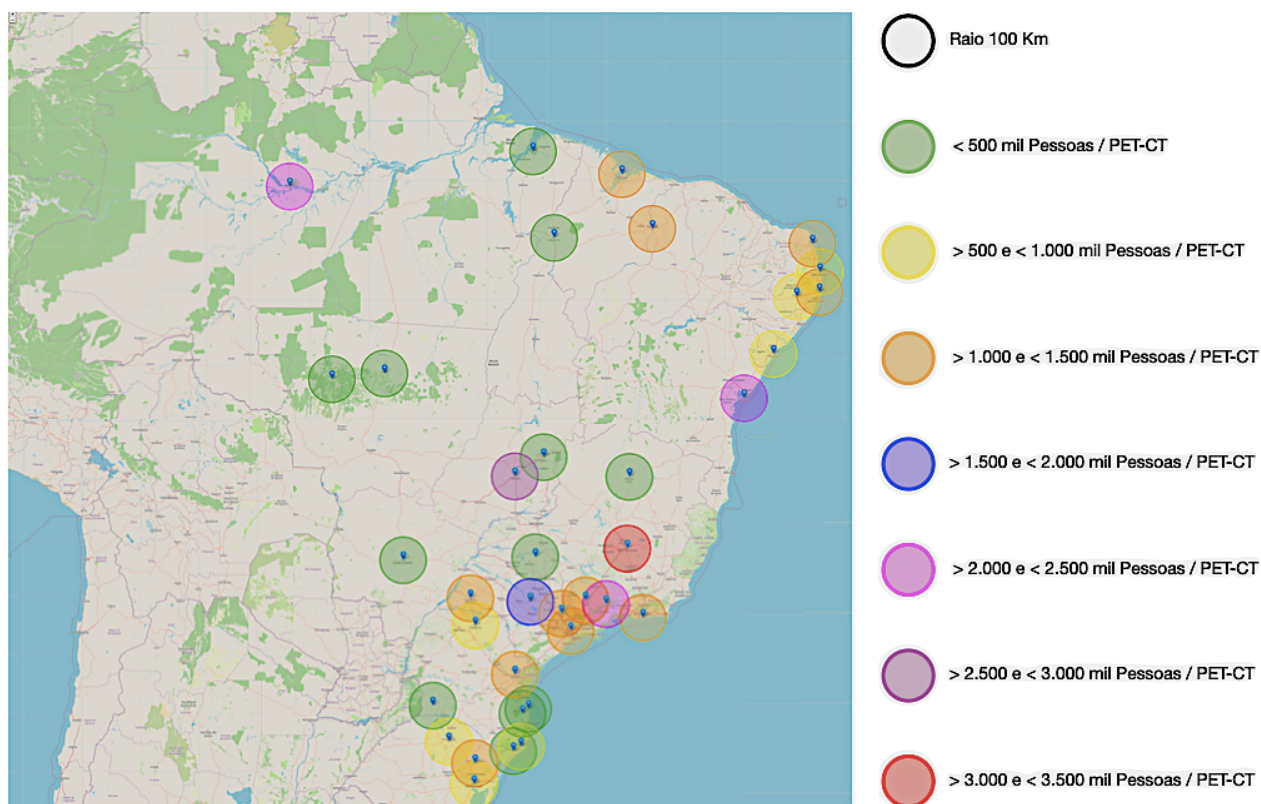
	cidade referencia	Populacao	Estab. PET-CT	Equipamentos	Popul./ Equip.
Grupo 1	Sao Paulo*	26.698.763	20	24	1.112.448
Grupo 2	Campinas*	19.997.894	11	14	1.428.421
Grupo 3	Barretos	461.925	1	1	461.925
Grupo 4	Jau	1.923.372	1	1	1.923.372
Grupo 5	Rio Preto	1.346.942	3	3	448.981
Grupo 6	Presidente Prudente	1.132.478	1	1	1.132.478
Grupo 7	Pouso Alegre	2.126.674	2	2	1.063.337
Grupo 8	Passa Quatro	2.067.492	1	1	2.067.492
Grupo 9	Belo Horizonte	6.013.725	2	2	3.006.863
Grupo 10	Montes Claros	529.127	2	2	264.564
Grupo 11	Rio de Janeiro	13.348.369	10	10	1.334.837
Grupo 12	Porto Alegre	4.959.826	5	5	991.965
Grupo 13	Caxias do Sul	3.962.660	3	3	1.320.887
Grupo 14	Criciúma*	980.516	2	2	490.258
Grupo 15	Tubarão*	1.178.581	2	2	589.291
Grupo 16	Brusque*	3.219.138	2	14	229.938
Grupo 17	Itajaí*	3.154.726	2	9	350.525
Grupo 18	Curitiba	3.826.889	2	3	1.275.630
Grupo 19	Maravilha	182.521	1	1	182.521
Grupo 20	Londrina	1.672.288	3	3	557.429
Grupo 21	Campo Grande	925.699	2	2	462.850
Grupo 22	Brasnorte	15.357	1	1	15.357
Grupo 23	Sinop	149.870	1	1	149.870
Grupo 24	Manaus	2.033.120	1	1	2.033.120
Grupo 25	Brasília	2.969.853	6	6	494.976
Grupo 26	Goiania	2.769.971	1	1	2.769.971
Grupo 27	Salvador	4.986.402	2	2	2.493.201
Grupo 28	Aracaju	1.889.650	2	2	944.825
Grupo 29	Recife*	5.152.212	4	4	1.288.053
Grupo 30	Caruaru*	2.357.000	3	3	785.667
Grupo 31	João Pessoa*	2.004.281	4	4	501.070
Grupo 32	Natal	2.163.655	2	2	1.081.828
Grupo 33	Teresina	1.118.706	1	1	1.118.706
Grupo 34	Sao Luis	2.020.204	2	2	1.010.102
Grupo 35	Imperatriz	318.361	2	2	159.181
Grupo 36	Belem	1.672.395	4	4	418.099
Grupo 37	Passo Fundo	576.103	1	1	576.103
	Totais	131.906.745	115	142	928.921

Fonte: autoria própria.

* Grupos com equipamentos compartilhados a partir das cidades de referência.

O território brasileiro tem 8.516.000 km², já um raio de 100 Km tem cerca de 31.400 km². O que leva à conclusão de que seriam necessários cerca de 271 grupos com equipamento PET-CT, sem interseção entre estes, para cobrir todo o território nacional de forma que a cada raio de 100 km exista um equipamento PET-CT. Já eliminadas as interseções (Itajaí / Brusque, Tubarão / Criciúma, Recife / João Pessoa, Recife / Caruaru) hoje temos somente 34 destes grupos, conforme apontado no mapa da Figura 9. Logo, somente 1.067.600 km² está coberta dentro da restrição de um equipamento PET-CT a cada raio de 100 km, ou seja, somente um oitavo do território nacional esta dentro da área de cobertura.

Figura 9 - Mapa de concentração de habitantes por Equipamento PET-CT no Brasil em um raio de 100 km



Fonte: Autoria própria. Realizado através da biblioteca folium em linguagem Python.

110 milhões de pessoas estão em áreas fora das microrregiões apontadas na Figura 9, e tem que viajar por mais de 100 km para ter acesso a um PET-CT. Para se chegar neste número de 110 milhões de pessoas, foi considerada a população brasileira de 212 milhões, menos um total de 102 milhões de habitantes, que correspondem ao número de habitantes efetivo das microrregiões apresentadas no mapa da Figura 9, ou seja, dentro de um raio de 100 km.

Estes 102 milhões foram obtidos a partir do total de cerca de 132 milhões de habitantes da Tabela 2, excluídas as seguintes populações devido a interseções: 10 milhões - interseção populacional de São Paulo / Campinas; 5 milhões - Recife / João Pessoa, Recife / Caruaru; 3 milhões - Itajaí / Brusque; 1 milhão - Tubarão / Criciúma; 4 milhões - Caxias do Sul / Porto Alegre / Criciúma; 1 milhão - Pouso Alegre / Passa Quatro; menos 1 milhão - Brasília / Goiânia; 5 milhões - soma de todas outras pequenas interseções populacionais das regiões apresentadas na Figura 9.

E mesmo nas regiões mais abundantes de equipamentos disponíveis como São Paulo, que tem 24 PET-CTs, a população está tão concentrada que chega a uma razão de mais de um milhão de habitantes por equipamento. O pior caso dos grupos com PET-CTs disponíveis está em Belo Horizonte com mais de 3 milhões de habitantes por equipamento, conforme Figura 9 e Tabela 2.

Portanto, ao considerar os fatores de restrição de distância e população estamos distantes da recomendação de 500 mil habitantes por equipamento (Paez, Becic, Bhonsle,

Tabela 3 - Necessidade de equipamentos adicionais (meta 500 mil pessoas/PET-CT) para os grupos em um raio de 100 km a partir de equipamento PET-CT.

	cidade referencia	Populacao	Estab. PET-CT	Equipamentos adicionais	Equipamentos	Popul./ Equip.
Grupo 1	Sao Paulo	26.698.763	20	30	54	494.422
Grupo 2	Campinas	19.997.894	11	24	40	499.947
Grupo 3	Barretos	461.925	1	0	1	461.925
Grupo 4	Jau	1.923.372	1	3	4	480.843
Grupo 5	Rio Preto	1.346.942	3	0	3	448.981
Grupo 6	Presidente Prudente	1.132.478	1	2	3	377.493
Grupo 7	Pouso Alegre	2.126.674	2	2	5	425.335
Grupo 8	Passa Quatro	2.067.492	1	4	5	413.498
Grupo 9	Belo Horizonte	6.013.725	2	11	13	462.594
Grupo 10	Montes Claros	529.127	2	0	2	264.564
Grupo 11	Rio de Janeiro	13.348.369	10	17	27	494.384
Grupo 12	Porto Alegre	4.959.826	5	5	10	495.983
Grupo 13	Caxias do Sul	3.962.660	3	5	8	495.333
Grupo 14	Criciúma	980.516	2	0	2	490.258
Grupo 15	Tubarao	1.178.581	2	1	3	392.860
Grupo 16	Brusque	3.219.138	2	0	14	229.938
Grupo 17	Itajai	3.154.726	2	0	9	350.525
Grupo 18	Curitiba	3.826.889	2	5	8	478.361
Grupo 19	Maravilha	182.521	1	0	1	182.521
Grupo 20	Londrina	1.672.288	3	1	4	418.072
Grupo 21	Campo Grande	925.699	2	0	2	462.850
Grupo 22	Brasnorte	15.357	1	0	1	15.357
Grupo 23	Sinop	149.870	1	0	1	149.870
Grupo 24	Manaus	2.033.120	1	4	5	406.624
Grupo 25	Brasilia	2.969.853	6	0	6	494.976
Grupo 26	Goiania	2.769.971	1	5	6	461.662
Grupo 27	Salvador	4.986.402	2	8	10	498.640
Grupo 28	Aracaju	1.889.650	2	2	4	472.413
Grupo 29	Recife	5.152.212	4	7	11	468.383
Grupo 30	Caruaru	2.357.000	3	2	5	471.400
Grupo 31	Joao Pessoa	2.004.281	4	1	5	400.856
Grupo 32	Natal	2.163.655	2	3	5	432.731
Grupo 33	Teresina	1.118.706	1	2	3	372.902
Grupo 34	Sao Luis	2.020.204	2	3	5	404.041
Grupo 35	Imperatriz	318.361	2	0	2	159.181
Grupo 36	Belem	1.672.395	4	0	4	418.099
Grupo 37	Passo Fundo	576.103	1	1	2	288.052
	Totais	131.906.745	115	148	293	450.194

Jalilian, Nuñez-Miller & Osso Jr, 2016) e de todos habitantes com acesso em um raio de 100 Km (Kunkel, Van Itallie & Wu, 2014).

Fonte: autoria própria.

Para se atingir a meta de 1 equipamento a cada 500 mil habitantes, ainda seriam necessários cerca de 148 equipamentos adicionais, conforme coluna equipamentos adicionais da Tabela 3.

Ao focar somente na restrição de distância, visto que conforme já citado neste trabalho, 271 grupos com território de raio 100 km são necessários para integrar toda população, no mínimo mais 237 equipamentos adicionais seriam necessários, ou seja, além dos 34 Grupos (novamente eliminadas interseções) que já possuem o PET-CT em um raio de 100 km.

Assim, é identificada a necessidade de cerca de 385 equipamentos adicionais, sem considerar a restrição populacional nas áreas que ainda não tem um equipamento PET-CT em um raio 100 km.

Como a área fora da restrição de distância tem cerca de 110 milhões de habitantes, ao incluir a restrição populacional, 220 novos equipamentos seriam necessários para alcançar 500 mil habitantes por equipamento. Sendo assim, os 237 equipamentos levados em consideração na análise com restrição de distância já seriam suficientes, uma vez que as regiões ainda não consideradas nos grupos abordados com PET-CT tem menor concentração populacional. Portanto, é mantida a necessidade adicional total de cerca de 385 equipamentos (148 adicionais as localidades que já possuem PET-CT, mais 237 referente as localidades que ainda não possuem PET-CT em um raio de 100 km).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível, através deste estudo, demonstrar que o Brasil possui uma quantidade insuficiente de PET-CTs para atender de forma adequada às demandas da população em relação aos exames específicos de diagnóstico, proporcionados somente por este equipamento. Estão disponíveis 119 equipamentos para cerca de 212 milhões de habitantes, ou seja, uma média de 1,8 milhões de pessoas para cada equipamento. Porém as análises demonstram ainda mais, se considerarmos a distância de 100 km até um equipamento PET-CT, a qual, dependendo das condições das estradas locais, pode levar horas de viagem de automóvel, somente cerca de 102 milhões de habitantes estão assistidos. O que demonstra que mais da metade da população brasileira precisa viajar, no mínimo, 101 km para chegar a um PET-CT para realização do seu exame. E com certeza, pelo mapa apresentado na Figura 9, essa distância pode chegar a mais de 1500 km, principalmente na região Norte, que conta com apenas 3 equipamentos (Sinop, Brasnorte e Manaus) conforme Tabela 2.

Mesmo cidades como São Paulo, que tem a maior concentração de PET-CTs do país em um raio de 100 km (acesso a 1 equipamento em Campinas), com 24 equipamentos, ainda precisaria de 30 equipamentos adicionais para alcançar uma taxa de 1equipto/500 mil habitantes.

É preciso também considerar que 52 dos 119 equipamentos estão disponíveis somente na rede privada de saúde, o que limita ainda mais o acesso da população.

Os totais demonstram que o país precisa quadruplicar a quantidade de equipamentos PET-CT, dos 119 atuais para 504, num total de 385 equipamentos adicionais (148 nas localidades que já possuem PET-CT, mais 237 referente as localidades que ainda não possuem PET-CT em um raio de 100 km) precisam ser adquiridos. Em paralelo, um

aumento na rede de fabricação de contrastes se faz também necessário, de acordo com as informações sobre a importância do radiofármaco e seu tempo de vida.

Como recomendações para trabalhos futuros seria interessante calcular através de algoritmos, onde devem ser localizados os futuros equipamentos PET-CT, a partir dos já existentes, e em seguida plotar estes pontos no mapa para indicação de futuras instalações de toda estrutura envolvida para realização do exame. Além disso, adicionar todas possíveis restrições, as já utilizadas neste trabalho, população e distância, e também custo, algo parecido com o realizado no trabalho de Kunkel, Van Itallie & Wu (2014) citado no referencial teórico.

A densidade populacional nos raios de 100 km poderia também ser calculada via algoritmo e apresentada no mapa, o que melhoraria a precisão dos cálculos em relação as populações nas áreas de interseção em um raio de 100 km.

6. REFERÊNCIAS

AHMADI-JAVID, Amir; SEYEDI, Pardis; SYAM, Siddhartha S. A survey of healthcare facility location. **Computers & Operations Research**, v. 79, p. 223-263, 2017.

KUNKEL, Amber G.; VAN ITALLIE, Elizabeth S.; WU, Duo. Optimal distribution of medical backpacks and health surveillance assistants in Malawi. **Health care management science**, v. 17, n. 3, p. 230-244, 2014.

GU, Wei; WANG, Xin; MCGREGOR, S. Elizabeth. Optimization of preventive health care facility locations. **International journal of health geographics**, v. 9, n. 1, p. 1-16, 2010.

ZHANG, Yue et al. A bilevel model for preventive healthcare facility network design with congestion. **IIE Transactions**, v. 42, n. 12, p. 865-880, 2010.

PAEZ, Diana et al. Current status of nuclear medicine practice in the Middle East. In: **Seminars in nuclear medicine**. WB Saunders, 2016. p. 265-272.

MATSUMOTO, Masatoshi et al. Geographic distribution of CT, MRI and PET devices in Japan: a longitudinal analysis based on national census data. **PLoS One**, v. 10, n. 5, p. e0126036, 2015

Imagens Equipamento PET/CT. Disponível em: << <https://www.neusoftmedicallatam.com/portfolio-items/neusight-pet-ct/>>>. Acesso em: 18/08/21.

VERDUZCO-AGUIRRE, Haydeé C.; LOPES, Gilberto; SOTO-PEREZ-DE-CELIS, Enrique. Implementation of diagnostic resources for cancer in developing countries: a focus on PET/CT. **ecancermedicalsecience**, v. 13, 2019

GALLACH, Miguel et al. Addressing Global Inequities in Positron Emission Tomography-Computed Tomography (PET-CT) for Cancer Management: A Statistical Model to Guide Strategic Planning. **Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research**, v. 26, p. e926544-1, 2020.

PET/CT Imaging Guidelines. Disponível em: <<<https://nucradshare.com/PETCT.html>>>. Acesso em: 17/08/21.

AL-BULUSHI, Naima K.; BAILEY, Dale; MARIANI, Giuliano. The medical case for a positron emission tomography and X-ray computed tomography combined service in Oman. **Sultan Qaboos University Medical Journal**, v. 13, n. 4, p. 491, 2013.

CHAO, Yi-Sheng et al. Canadian Medical Imaging Inventory, 2019–2020. **Canadian Journal of Health Technologies**, v. 1, n. 1, 2021.

TOSCAS, Fotini Santos; NASCIMENTO, Marco Aurélio Carvalho. Challenges in the incorporation of high complexity technologies: PET-CT study in the perspective of radiotherapy expansion plan. **Revista Medica de Minas Gerais (Online)**, v. 30, 2020.

Contatos: cabral.felipe@gmail.com; mario.menezes@mackenzie.br