

Tradução Automática de expressões espaciais e não espaciais do inglês para o português: Um estudo envolvendo Raciocínio Espacial Qualitativo

Automatic Translation of Spatial and Non-Spatial Expressions from English into Portuguese: A Study Involving Qualitative Spatial Reasoning

Rafael Fernandes 
Departamento de Linguística
Universidade de São Paulo

Rodrigo Souza 
Departamento de Linguística
Universidade de São Paulo

Marcos Lopes 
Departamento de Linguística
Universidade de São Paulo

Paulo Santos 
PrioriAnalytica
Adelaide, Austrália

Thomas Finbow 
Departamento de Linguística
Universidade de São Paulo

Resumo

Os modelos neurais para a Tradução Automática representaram importantes avanços de desempenho por relação a modelos anteriores e, por isso, vêm sendo os mais empregados já há vários anos, mas ainda enfrentam dificuldades com expressões semanticamente mais complexas. Neste trabalho, investigamos o desempenho de dois dos sistemas de tradução automática mais utilizados da atualidade, Google Translator e DeepL, em expressões envolvendo representação e relação de objetos no espaço físico, sempre com a participação das mesmas preposições em inglês, divididas em situações com e sem interpretação espacial. Para a representação das expressões espacializadas, são aplicadas formalizações baseadas em modelos de Raciocínio Espacial Qualitativo, o que permite comparar a forma lógica de informações espaciais nos textos originais e em traduções automáticas do inglês para o português.

Os resultados mostram que esses dois grandes sistemas de tradução ainda cometem muitos erros com essas expressões de relativa complexidade. Entre eles, o Google Translator é o que mais erra globalmente (35,52% de erros). O DeepL, com melhor desempenho global (11,72% de erros), comete significativamente mais erros em expressões envolvendo espacialidade, o que sugere que a tradução dessas expressões aumenta a dificuldade da tradução. Além disso, ao realizar um estudo sobre o tipo específico das dificuldades em expressões espacializadas, vê-se que o problema de tradução automática mais frequente diz respeito à incorporação ou não de circunstâncias da ação, o que se realiza no predicado de formas distintas no inglês (em que o verbo tende a incorporar a maneira) e no português (em que a maneira é realizada em adjuntos do verbo). Os resultados do presente trabalho fornecem elementos específicos para a avaliação e o aprimoramento dos modelos de tradução automática entre essas e outras línguas em que as mesmas diferenças de representação do predicado se verifiquem.

Palavras chave

tradução automática; semântica espacial; raciocínio espacial qualitativo; polissemia; tipologia linguística

Abstract

Neural models for Machine Translation have been proving significant advances in performance in recent years, becoming the most widely employed tools for that task. Nevertheless, they still struggle with semantically complex expressions. In this paper, we investigated the performance of two of the most widely used systems available today, namely Google Translator and DeepL, in translating expressions involving representing objects in physical space, always using the same prepositions in English, divided into situations admitting spatial interpretations or not. Formalizations based on Qualitative Spatial Reasoning models are applied to the representation of the spatialized expressions, making it possible to compare the logical form of spatial information in the original texts and in automatic translations from English into Portuguese.

Results show that these two major translation systems still make many mistakes when it comes to relatively complex expressions. Among them, Google Translator had more errors globally (35.52%) whereas DeepL, with the best overall performance (11.72% of errors), made significantly more mistakes with expressions involving spatiality, which suggests that translating these expressions increases the difficulty of translation for this model. In addition, a study on the specific type of difficulties in spatialized expressions shows that the most frequent machine translation problem concerns the incorporation of manner into the predicate, which is realized by different means in English (where the verb tends to incorporate manner) and in Portuguese (where manner is realized in adjuncts to the verb). Results from the present work may provide specific criteria for evaluating and impro-



ving machine translation models between these and other languages in which the same differences in predication occur.

Keywords

neural machine translation; spatial semantics; qualitative spatial reasoning; polysemy; language typology

1. Introdução

A Tradução Automática Neural (TAN) firmou-se como o principal paradigma no campo da Tradução Automática, sendo amplamente aplicada tanto em contextos acadêmicos quanto em situações práticas (Dabre et al., 2020). Esse progresso pode ser atribuído, em grande parte, à capacidade dos modelos de aprendizado profundo de capturar longas dependências em sentenças complexas (Vaswani et al., 2017; Yang et al., 2020).

No entanto, apesar dos avanços, muitos tradutores automáticos ainda enfrentam desafios ao lidar com as sutilezas da espacialidade em dados linguísticos, como a polissemia das preposições e a projeção idiossincrática da Maneira de movimento em inglês (EN) diretamente em verbos no português (PT) (Fernandes et al., 2024). Isso é exemplificado no Exemplo (1), extraído do Dicionário Online Cambridge (CAM), onde as traduções foram realizadas usando o Google Translate (GT) (1-a) e o DeepL (DL) (1-b). Uma tradução profissional, apresentada após a sentença original em EN, serviu como referência.

- (1) He **swam** across the river.
Ele *atracessou* o rio **nadando**.
- a. ? Ele **nadou** do outro lado
3SG.M swim.PRET from-the other side
do rio.
of-the river
- b. Ele *atracessou* o rio **a nado**
3SG.M cross.PRET the river by swim

A tradução do Exemplo (1) feita pelo GT, embora gramaticalmente correta, carece de idiomatidade em PT. Em contraste, a tradução do DL é mais apropriada. Além de traduzir literalmente a maneira de movimento de “swim” para “nadar”, o erro do GT também decorre da polissemia da preposição ACROSS, que pode indicar tanto uma posição fixa em relação a um ponto de referência quanto um movimento de um lado para o outro no espaço. No contexto específico, o segundo significado é claramente o mais adequado. As Figuras 1 e 2 ilustram as duas diferentes interpretações.

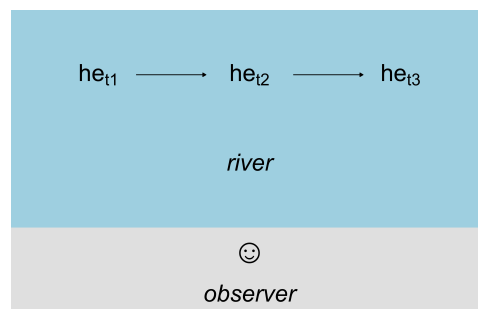


Figura 1: Diagrama semântico de 1-a.

A Figura 1 ilustra a tradução do GT, que sugere um movimento dentro de um local específico (uma margem oposta do rio). Em contrapartida, a Figura 2, que mostra a tradução feita pelo DL, transmite o sentido de atravessar de uma margem do rio à outra, capturando assim a natureza dinâmica implícita na frase original em EN.

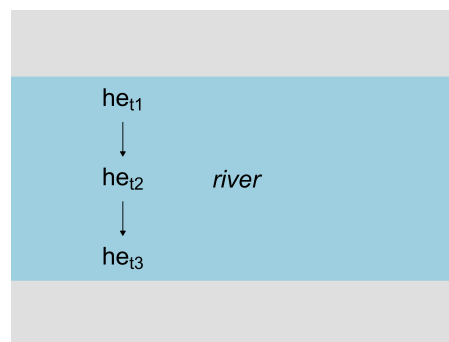


Figura 2: Diagrama semântico de 1-b.

Este artigo investiga a TAN de sentenças do EN para o PT que envolvem informações espaciais, como topologia e movimento, comparando-as com outras não espaciais. Para isso, são utilizados dois modelos neurais: GT e DL. O objetivo é identificar e discutir os desafios enfrentados por essas ferramentas ao lidar com a tradução de sentenças que expressam conhecimento espacial.

O estudo consistiu em duas etapas. Primeiro foram formalizadas sentenças com conhecimento espacial nas línguas fonte e alvo, com base em trabalhos de Spranger et al. (2016), Freksa & Kreutzmann (2016) e Randell et al. (1992). Na segunda, as traduções foram analisadas para identificar erros recorrentes dos tradutores automáticos. Ao invés do processo de funcionamento da TAN em si, o foco do estudo foi nas dificuldades dessas ferramentas em capturar significados espaciais e não espaciais e em explicitar diferenças qualitativas entre o EN e o PT não capturadas pelos tradutores automáticos. Os resultados indicam que o DL teve mais dificuldades com sentenças espaciais, enquanto o GT enfrentou mais desafios em contextos não espaciais.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, apresentamos uma breve revisão da literatura que reúne trabalhos que fundamentaram as questões linguísticas que nortearam nosso trabalho e embasaram nossas análises formais; na Seção 3, descrevemos os procedimentos metodológicos que guiaram a coleta e categorização dos dados, bem como as traduções, formalizações e avaliação das traduções automáticas; na Seção 4, apresentamos os resultados do nosso trabalho, discutindo as formalizações e analisando as dificuldades do GT e do DL; por fim, na Seção 5, apontamos as conclusões e questões que podem indicar possíveis direções de investigação em TAN.

2. O estudo da representação espacial

A representação espacial tornou-se um campo de pesquisa altamente produtivo (Levinson & Wilkins, 2006). O uso de expressões linguísticas para descrever relações espaciais é central em diversas disciplinas, como nas Teorias Cognitivas (Lakoff & Johnson, 2008; Taylor & Tversky, 1996; Tversky, 2003) e no Processamento de Linguagem Natural (PLN) (Kelleher & Dobnik, 2023; Zang et al., 2018; Ligozat et al., 2007).

Pesquisas sobre a representação espacial têm se concentrado nos diversos componentes linguísticos que lexicalizam informações espaciais, como verbos (Mani & Pustejovsky, 2012) e preposições (Herskovits, 1985; Zwarts & Basso, 2016). Apesar dos avanços, a semântica espacial continua sendo um desafio para a área de PLN. Um problema central é a ambiguidade gerada pela polissemia das preposições (Rodrigues et al., 2020, 2017), conforme ilustrado no Exemplo (1). Além disso, as formas como línguas tipologicamente distintas expressam informações espaciais variam; por exemplo, significados que são tipicamente expressos por preposições espaciais em línguas como o EN podem aparecer em diferentes partes do discurso em PT, como raízes verbais ou substantivos (Oliveira, 2021; Oliveira & Fernandes, 2022).

Nesta seção, além de abordar de forma sucinta os temas de tipologia linguística, neo-determinismo e os desafios da polissemia na tradução da representação espacial, apresentaremos também alguns trabalhos inseridos no domínio dos estudos em Raciocínio Espacial Qualitativo (REQ), um conjunto de métodos lógico-matemáticos que formaliza aspectos espaço-temporais qualitativos em ambas as línguas.

2.1. Semântica espacial: tipologia e neo-determinismo na tradução

Um “Evento de Movimento”, conforme descrito por Talmy (2000b, 25–26), envolve a interação entre um objeto principal (Figura) e um objeto de referência (Fundo). Esse conceito abrange dois tipos de movimento: *autocontido*, que inclui ações como rotação ou oscilação sem alteração de localização, e *translocacional*, que implica uma mudança de posição da Figura ao longo do tempo (Shan, 2018). Os eventos de movimento são analisados com base em quatro componentes centrais:

Figura (F): O objeto em movimento ou parado.

Fundo (G): O objeto que serve como referência.

Trajeto (P): Percurso ou localização da Figura.

Movimento: O estado da Figura (em locomoção (MOVE) ou em repouso (BE_{LOC})).

Além dos elementos essenciais, um Evento de Movimento pode incluir um “Co-evento” para expressar, por exemplo, a *Maneira* (M) ou a *Causa* (C) do movimento. Esses elementos fornecem detalhes adicionais sobre como a Figura se move ou como o movimento ocorre. Os Exemplos (2) e (3) ilustram essas nuances com a lexicalização de MOVE + M e BE_{LOC} + C, respectivamente.

- (2) The rock<F> [rolled]<MOVE + M> [down]<P> the hill<G>.
A pedra [rolou] [para-baixo] (d)a colina.
'A pedra [desceu]<MOVE + P> a colina [rolando]<M>.'
- (3) The pencil<F> [stuck]<BE_{LOC} + C> [on]<P> the table<G> (after I glued it).
O lápis [grudou] sobre a mesa
'O lápis [ficou grudado]<C> [na]<BE_{LOC} + P> mesa (depois que eu o coleí).'

Baseado na observação sistemática das línguas naturais, Talmy (2000a,b) propõe uma classificação tipológica em dois grandes grupos. O primeiro grupo, denominado *S-framed* (de “satellite framed”), expressa predominantemente Movimento e um Co-evento (*Causa* ou *Maneira*) por meio de um único verbo (ex.: “run,” “climb,” “dash”), enquanto o componente do Trajeto é geralmente expresso em um *satélite*, como preposições (ex.: “in,” “on,” “out of”). As línguas germânicas, assim como a maioria das línguas indo-europeias, pertencem a esse grupo. Em contraste, as línguas *V-framed* (V, de “verb”) (

tendem a separar o Movimento dos Co-eventos. Seus verbos codificam primariamente o Trajeto (ex: “entrar”, “sair”, “atravessar”), enquanto a Maneira ou Causa, quando expressas, tendem a aparecer em expressões separadas, como advérbios, gerúndios ou adjuntos. As línguas românicas, bem como as semíticas, o basco, o coreano e o japonês, são exemplos dessa categoria. Embora essa divisão dupla tenha sido revisitada em alguns trabalhos posteriores, como Zlatev & Yangklang (2004); McCleary & Viotti (2004) e Ibarretxe-Antuñano (2015), a classificação inicial permanece pertinente para os propósitos desta pesquisa.

As diferenças tipológicas propostas por Talmy levantam questões fundamentais sobre a relação entre linguagem e pensamento. Segundo a hipótese *pensar para falar*, uma releitura do determinismo linguístico proposto pela hipótese Sapir-Whorf, Slobin (1985, 1996) argumenta que a linguagem não é uma mera tradução de imagens mentais pré-fixadas, mas atua como uma ferramenta importante na produção da fala, moldando os elementos semânticos que são destacados pelos falantes. Essa proposta ficou conhecida como *neo-determinismo* linguístico. Tal teoria implica que línguas diferentes podem expressar uma mesma ideia de formas distintas (Berman & Slobin, 1994). Além disso, uma mesma situação pode ser descrita de várias maneiras por uma mesma língua, que oferece um conjunto amplo, mas limitado, de possibilidades gramaticais. Em suma, o conceito de *pensar para falar* envolve “selecionar características que (a) se encaixam na conceitualização do evento e (b) são prontamente codificáveis na língua” (Slobin, 1987, 435).

Para demonstrar os efeitos da hipótese “pensar para falar” na tradução, Slobin (2005) analisa traduções profissionais de um excerto de *The Hobbit* Tolkien (1937); tradução em português: Tolkien (2001) em diversas línguas. No caso do PT, ele chama atenção para o fato de o tradutor optar por omitir a Maneira do movimento e simplificar a trajetória complexa representada pelas preposições espaciais em EN. O Exemplo (4) ilustra essa adaptação, mostrando como o componente do Trajeto expresso pela preposição “over” em EN é traduzido como o advérbio “além” em PT, além de incorporar diferentes formas desse elemento em raízes de verbos.

- (4) He still [**wandered**] <MOVE + M> [*on*] <P>, [*out*] <P> of the little high valley, [*over*] <P> its edges, and [*down*] <P> the slopes beyond.

[Continuou *avanzando*] <MOVE + P>, [*saiu*] <MOVE + P> do vale alto e estreito, e [*desceu*] <MOVE + P> as ladeiras além.

Desta forma, Slobin (1996) argumenta que, em línguas *V-framed*, como o PT, geralmente evita-se o uso de verbos de Maneira ao descrever ações que envolvem cruzar limites, devido a uma “restrição” imposta nessas línguas. Nesses casos, o verbo principal tende a expressar a mudança de estado e não o movimento em si. Exceções ocorrem em ações pontuais e de alta energia, como “atirar-se”, que podem ser vistas como mudanças de estado. Contudo, verbos de Maneira raramente são usados para descrever eventos que se estendem no tempo ou espaço ao cruzar limites.

Em resumo, compreender a tipologia linguística e o neo-determinismo é essencial para abordar as diferenças entre línguas. A tipologia de Talmy revela como o EN e o PT expressam movimento de maneiras distintas, enquanto o conceito de “pensar para falar” de Slobin demonstra o impacto dessas diferenças na tradução. Estudos de Cifuentes-Férez & Rojo (2015); Alonso (2022) evidenciam que as variações tipológicas e a experiência do tradutor influenciam diretamente as estratégias de tradução, destacando a necessidade de integrar esse conhecimento nos sistemas de tradução automática na medida em que eles evoluem. Como salientado por Bender (2016), a área de PLN requer a tipologia para gerenciar eficientemente as variações e aprimorar a qualidade do conteúdo linguístico gerado, garantindo a idiomaticidade, especialmente no domínio espacial.

2.2. Os efeitos da polissemia na tradução

No campo da Linguística Cognitiva, o conceito do espaço é visto como uma ferramenta essencial para representar outros domínios conceituais, frequentemente utilizando linguagem metafórica (Lakoff & Johnson, 2008). Preposições espaciais são comuns em domínios como o tempo (ex: “Chegarei *em* cinco minutos”), as emoções (ex: “Hoje estou me sentindo *para baixo*”) e as expressões idiomáticas (ex: “Estou *em* choque”) (Coventry & Garrod, 2004). Essas preposições costumam apresentar polissemia, o que pode resultar em ambiguidades em contextos de tradução.

2.2.1. ACROSS, THROUGH e VIA

As preposições ACROSS e THROUGH têm significados distintos, embora ambas estejam relacionadas a movimentos em relação a superfícies

e espaços (Bruckfield, 2011). ACROSS enfatiza o movimento ou a posição sobre uma superfície, geralmente em um contexto bidimensional. Por exemplo, ao dizer “He drove *across* the bridge”, a preposição destaca o ato de se mover sobre a ponte como um único referente. Por outro lado, THROUGH se aplica a movimentos que envolvem a entrada e a saída de um espaço tridimensional, podendo este ser um barreira ou não. Um exemplo seria “He drove *through* the tunnel”, que ilustra a passagem de um lado ao outro em um espaço volumétrico. Além disso, de forma similar a THROUGH, VIA é uma preposição que indica o meio ou a rota do movimento. Por exemplo, “He drove *via* London” sugere que Londres foi um ponto de passagem na jornada. Em suma, enquanto ACROSS e THROUGH se concentram no movimento em relação a superfícies e espaços, VIA enfatiza o percurso ou meio utilizado.

Um erro muito comum observado na TAN é traduzir as preposições ACROSS e THROUGH em PT diretamente na locução prepositiva “através (de).” Veja as traduções do Exemplo (5) usando o GT (5-a) e DL (5-b).

(5) He hammered a nail *through* the board.

- a. ? Ele martelou um prego
3SG.M hammer.PRET a nail
através-d(e) o quadro.
through the board
- b. Ele martelou um prego *na*
3SG.M hammer.PRET a nail *in-the*
tábua.
board

Como ressaltam McCleary & Viotti (2004), embora “através (de)” se aproxime mais do significado de THROUGH, seu uso deve ser cauteloso. Isso se deve ao fato de que essa locução enfatiza o processo em vez do resultado, especialmente em situações que envolvem o cruzamento de limites. Assim, conforme ilustrado no Exemplo (5), essa distinção é fundamental para garantir que a tradução reflita com precisão o sentido pretendido.

2.2.2. INTO vs. ONTO

As preposições INTO e ONTO diferem em seus significados e usos, como destaca Bruckfield (2011), embora ambas estejam relacionadas ao movimento. INTO indica movimento em direção a um espaço fechado ou recipiente, enfatizando a entrada nesse local. Por exemplo, “The man kicked the ball *into* the goal” destaca a ação

de chutar que resulta na bola entrando no gol. Também pode indicar movimento que resulta em colisão, como em “The car crashed *into* the wall.” Por outro lado, ONTO refere-se a movimento em direção a uma superfície, onde algo é colocado ou se move para cima dela, como em “The boy spilled milk *onto* the floor.” Enquanto INTO implica uma transição para o interior de um espaço, ONTO sugere interação com a superfície de um objeto. Além disso, ONTO pode transmitir um sentido de anexação ou pressão, como em “The boy strapped the backpack *onto* his shoulders.”

Quando traduzidas para o PT, essas preposições variam, podendo ser traduzidas por “para” ou em “em direção a”. No entanto, como destaca Oliveira (2012), uma preposição extremamente versátil capaz de ser utilizada em ambos os casos é “em”. Observe os Exemplos (6) e (7).

- (6) The sewage was spilled *into* the river.
a. O esgoto foi derramado *no* rio.
The sewage be spill.PTCP *in-the* river
- (7) Racists threw bananas *onto* the field.
a. Racistas jogaram bananas *no*
Racists throw-PRET bananas *on-the*
campo.
field

O conceito de movimento com “em” apresenta uma nuance interessante. Embora geralmente signifique localização, como sugere Oliveira (2012); Ferreira & Basso (2020), em contextos dinâmicos, “em” pode enfatizar um objeto localizado no ponto final de um Trajeto, como ilustrado nos Exemplos (6) e (7), onde “em” destaca o ponto final dos objetos despejados e lançados. Assim, é possível que os esquemas associados a “em” possam ser mais flexíveis, incorporando aspectos de movimento em situações específicas.

A compreensão da polissemia nas preposições é crucial para estudos em TAN. Acepções incorretas de termos como ACROSS, THROUGH, INTO e ONTO podem distorcer o significado global das sentenças, levando a interpretações equivocadas. Portanto, uma análise cuidadosa das nuances semânticas dessas preposições é essencial para aprimorar a tradução, garantindo que as versões traduzidas reflitam com precisão a intenção original.

2.3. Métodos de raciocínio espacial qualitativo

O Raciocínio Espacial Qualitativo (REQ) é um domínio de estudos da Inteligência Artificial que

propõe a representação formal do conhecimento humano sobre a configuração espacial de objetos físicos no mundo (Cohn et al., 1997). Com métodos de REQ, é possível representar formalmente informações estáticas e dinâmicas sobre o espaço por meio de categorias qualitativas, o que, em tese, aproximaria a representação computacional do modo como humanos manifestam linguisticamente o conhecimento espacial (Chen et al., 2015). Dentro desse domínio de estudos, há métodos para formalizar informações topológicas, orientação, forma, tamanho e distância entre objetos (Cohn & Renz, 2008). A seguir, apresentamos resumidamente alguns dos métodos de REQ que serão utilizados neste trabalho: o Cálculo de Conexões de Regiões, as Vizinhanças Conceituais e o formalismo proposto por Spranger et al. (2016).

O Cálculo de Conexões de Regiões (RCC-8) (Randell et al., 1992; Cohn et al., 1997) é um sistema axiomático em lógica de primeira ordem que possibilita a representação de informações estáticas sobre o espaço por meio de oito relações mereotopológicas. De forma resumida, no cálculo, (Randell et al., 1992) definem os seguintes axiomas para representar uma configuração em que duas regiões x e y compartilham ao menos um ponto em comum:

$$\begin{aligned} & \forall x C(x, x) \\ & \forall xy [C(x, y) \rightarrow C(y, x)] \end{aligned} \quad (1)$$

Na Equação 1, $\forall x C(x, x)$ denota que, para toda região x , x está conectada a si mesma. Por sua vez, $\forall xy [C(x, y) \rightarrow C(y, x)]$ indica que, para quaisquer regiões x e y , se x está conectada a y , então y também está conectada a x . A partir desses axiomas, os autores definem as oito relações mereotopológicas, que estão apresentadas na Tabela 1, adaptada de Randell et al. (1992).

A partir das relações apresentadas na Tabela 1, é possível formalizar relações espaciais estáticas entre objetos que são evocadas, por exemplo, por algumas preposições. Um exemplo de aplicação do RCC-8 nessa tarefa foi apresentado por Mani & Pustejovsky (2012). De acordo com a análise dos autores, uma preposição como “on” em EN poderia ser modelada por meio de, pelo menos, duas relações: x EC y e x TPP y . No primeiro caso, a relação explicitava cenários em que uma Figura e um Fundo estariam externamente conectados. No segundo, a Figura estaria contida no Fundo e o tocava tangencialmente.

As Vizinhanças Conceituais (Freksa, 1992, 1991; Freksa & Kreutzmann, 2016) foram introduzidas no REQ para formalizar transições discretas entre relações temporais ou espaciais de

Relação	Ilustração	Interpretação
x DC y		x está desconectado de y
x EC y		x está externamente conectado com y
x PO y		x sobrepõe y parcialmente
x TPP y		x está contido em y e toca y tangencialmente
x NTPP y		x está contido em y e não toca y tangencialmente
x EQ y		x é idêntico a y
x TPPi y		y está contido em x e toca x tangencialmente
x NTPPi		y está contido em x e não toca x tangencialmente

Tabela 1: Definição das oito relações do RCC-8, baseado em Randell et al. (1992)^a

^aRCC-8/QSRLib: <https://qsrlib.readthedocs.io/en/latest/rsts/handwritten/qsrs/rcc8.html>

forma dinâmica. Sejam as posições relativas de dois pontos, P e Q , em uma linha reta. Esses pontos podem ser posicionados por meio de uma das três relações a seguir: $P < Q$ (P antes de Q), $P = Q$ (P igual a Q) e $P > Q$ (P depois de Q). Se esses pontos estiverem em movimento contínuo, transições diretas de $P < Q$ para $P = Q$ e de $P = Q$ para $P > Q$ seriam possíveis. No entanto, uma transição direta de $P < Q$ para $P > Q$ não seria possível, pois exigiria a passagem pelo estágio intermediário $P = Q$. De acordo com Freksa & Kreutzmann (2016), a possibilidade de uma transição direta de $P < Q$ para $P = Q$ e de $P = Q$ para $P > Q$ indica que $<$ é conceitualmente vizinha de $=$ que, por sua vez, é conceitualmente vizinha de $>$. Por outro lado, $<$ e $>$ não são conceitualmente vizinhas.

A noção de Vizinhanças Conceituais permite representar qualitativamente o movimento de dois objetos no espaço. A partir das transições descritas, podem ser definidas treze relações qualitativas que capturam possíveis interações espaciais entre esses objetos. A Figura 3 ilustra essas relações de forma conjunta, exaustiva e em pares disjuntivos, fundamentadas no Cálculo de Intervalos de Allen (Allen, 1983), oferecendo uma visão clara das dinâmicas espaciais em questão.

Relation	Symbol	Pictorial Example
before - after	< >	
equal	=	
meets - met by	m mi	
overlaps - overlapped by	o oi	
during - contains	d di	
starts - started by	s si	
finishes - finished by	f fi	

Figura 3: As treze relações qualitativas entre dois objetos lineares dispostos sobre uma reta orientada (cf. Freksa & Kreutzmann (2016)).

As treze relações ilustradas na Figura 3 são descritas pelo seguinte conjunto: *before*, *after*, *equal*, *meets*, *met by*, *overlaps*, *overlapped by*, *during*, *contains*, *starts*, *started by*, *finishes*, *finished by*. Esse conjunto permite representar transições relacionadas ao movimento de objetos em um evento. Por exemplo, ao descrever um evento em que um objeto F , a Figura, atravessa uma superfície R , que pode ser entendida como uma Região ou Fundo, podemos utilizar as relações: $\langle F \text{ starts } R, R \text{ contains } F, F \text{ finishes } R \rangle$. Assim, a Figura é considerada um ponto móvel, ou conceitualmente móvel, enquanto o Fundo atua como ponto de referência (Talmy, 1985, 2000a,b).

Por fim, Spranger et al. (2016) apresenta um sistema destinado a habilitar robôs a descrever e processar sentenças que transmitem conhecimento espacial sobre eventos de movimento. O sistema é composto por três módulos: um módulo baseado em métodos de REQ, que fornece descrições qualitativas de cenas dinâmicas; um módulo que seleciona aspectos qualitativos de uma cena para descrever eventos; e um módulo de processamento de sentenças em EN, voltado para a manipulação de informações espaciais.

Neste trabalho, concentraremos-nos na descrição do primeiro módulo, fundamentado nos princípios do REQ.

De acordo com Spranger et al. (2016), o módulo responsável por gerar descrições qualitativas é organizado para representar informações sobre topologia, orientação e movimento. Os objetos em uma cena são representados em relação à sua posição, orientação e extensão no espaço, utilizando primitivos como regiões, pontos, pontos orientados e segmentos de reta. A dinâmica do movimento na cena é conceptualizada em termos de origem, destino e trajetória do movimento.

A configuração espacial dos objetos em um cenário é representada por meio das relações me-reotopológicas do RCC-8, apresentadas na Tabela 1 e das relações do Cálculo de Distinção Esquerda-Direita, ou Cálculo $\mathcal{LR}$ (Scivos & Nebel, 2004), definidas no conjunto $\mathcal{R}_{orient} = \{l, r, i, s, e, f, b\}$. As relações do conjunto são interpretadas como *left*, *right*, *between*, *start*, *end*, *front* e *behind*, respectivamente. Com essas relações é possível representar, por exemplo, a posição de um ponto C em relação a uma linha orientada de um ponto A para um ponto B , considerando que $A \neq B$. Assim, C pode estar à direita ou à esquerda da linha, em uma reta colinear àquela que vai de A até B ou à frente de B , entre A e B ou atrás de A . Além disso, C pode estar no ponto inicial A ou no ponto final B (Lücke & Mossakowski, 2010).

Para representar o movimento dos objetos em cena, Spranger et al. (2016) definiram os predicados $holds-at(\phi, r, t)$ e $holds-in(\phi, r, t)$. O primeiro indica que o ponto móvel ϕ tem um valor r no tempo t , enquanto o segundo refere-se a um valor r durante um intervalo de tempo t . O predicado $occurs-in(\theta, \delta)$, por sua vez, denota que um evento θ ocorre em um intervalo de tempo δ . Por fim, as transições temporais presentes em um evento são representadas pelas 13 relações qualitativas da Álgebra de Intervalos de Allen (Allen, 1983), ilustradas na Figura 3. A Equação 2 representa um evento em que um objeto o_1 se move para dentro de uma região o_2 (Spranger et al., 2016).

$$\begin{aligned}
& occurs-in(moves-into(o_1, o_2), \delta) \supset \\
& holds-at(\phi_{top}(position(o_1), region(o_2)), outside, t_1) \wedge \\
& holds-at(\phi_{top}(position(o_1), region(o_2)), inside, t_2) \wedge \\
& starts(t_1, \delta) \wedge finishes(t_2, \delta) \wedge meets(t_1, t_2)
\end{aligned} \tag{2}$$

Na representação da Equação 2, um evento θ ocorre em um intervalo de tempo δ . Inicialmente, no tempo t_1 , o objeto o_1 encontra-se fora da região o_2 . Em seguida, no tempo t_2 , ele se move e passa a estar contido dentro da região o_2 .

As transições entre os estados são representadas pelas relações: *starts*, que indica que, durante o intervalo de tempo δ a partir de t_1 , o movimento de o_1 é iniciado; *finishes*, que sinaliza a conclusão do evento no intervalo de tempo δ em t_2 , quando o_1 já está dentro da região o_2 ; e *meets*, que representa o contato entre o_1 e a região o_2 durante o intervalo que se estende de t_1 a t_2 .

De modo geral, os trabalhos apresentados aqui fornecem ferramentas valiosas para a modelagem de diferentes tipos de informações espaciais em dados linguísticos. Em particular, os artigos de Freksa & Kreutzmann (2016) e Spranger et al. (2016) são especialmente relevantes, pois oferecem abordagens formais para modelar o movimento, permitindo a representação de configurações espaciais que mudam continuamente ao longo do tempo. Como veremos na Seção 3, os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho, relacionados à formalização das sentenças, fundamentam-se nesses estudos.

3. Métodos

Nesta seção, são detalhadas as etapas metodológicas empregadas neste trabalho, envolvendo a coleta de dados, a classificação das sentenças contendo preposições, o processo de tradução, a formalização das sentenças contendo informações espaciais e a avaliação de erros nas traduções.

3.1. Coleta dos dados

Para compor o corpus, foram reunidos dois conjuntos de 145 sentenças cada, distribuídas da seguinte forma: um grupo contendo sentenças que envolvem espacialidade (movimento, topologia, etc.), coletadas de corpora em EN; e um grupo com sentenças das mesmas fontes, mas sem interpretação espacial. Além disso, foram incluídas as traduções humanas (referências) dessas sentenças e as traduções realizadas pelos sistemas de TAN, totalizando 1.160 sentenças. Todas as sentenças coletadas contêm uma das seguintes preposições: ACROSS, THROUGH, VIA, INTO e ONTO, que possuem sentidos semelhantes ou costumam ser traduzidos da mesma forma do EN-PT. Os corpora em EN utilizados foram o *Corpus of Contemporary American English* (COCA)¹ e alguns dados do *Cambridge Online Dictionary* (CAM)².

Nos Exemplos (8) e (9), são apresentadas duas amostras do corpus (Through-CAM-1-2 e Into-COCA-2-3, respectivamente). Nota-se que o primeiro número na identificação se refere ao

sentido espacial associado à preposição (conforme detalhado na Tabela 2), enquanto o segundo número, ao identificador do exemplo. Nas amostras, os itens (8-a) e (9-a) são as traduções do GT, enquanto os itens (8-b) e (9-b) são as do DL. Logo após a sentença original em EN, oferecemos uma tradução profissional.

- (8) He struggled *through* the crowd till he reached the front.
Ele *atravessou* a multidão **com dificuldade** até chegar à frente.

a. ? Ele **lutou** *no meio da*
3SG.M fight-PRET in-the middle of-the
multidão até chegar à frente.
crowd until reach.INF to-the front

b. ? Ele **se debateu** *entre a*
3SG.M REFL struggle-PRET amongst the
multidão até chegar à frente.
crowd until reach.INF to-the front

- (9) He just about stops himself from **flying** *into* the wall and nurses the car back to the pits.
Ele conseguiu evitar por pouco que o carro *se arrebentasse contra* o muro, conduzindo-o em seguida com cuidado para os boxes.

a. ? Ele quase se impede de
3SG.M almost REFL stop-PRES of
voar *para a* parede e *amamenta*
fly.INF to the wall and nurses.PRES
o carro de-volta para os boxes.
the car back to the pits

b. ? Por pouco ele não **voa** *contra*
By little 3SG.M not fly.PRES against
o muro e leva o carro
the wall and take.PRES the car
de-volta para os boxes.
back to the pits

3.2. Classificação das sentenças

Cada sentença foi categorizada com base nos significados espaciais alinhados às entradas encontradas no *Dicionário Online Cambridge* (CAM) e nas definições descritas em Bruckfield (2011), como mostra a Tabela 2. Por exemplo, a sentença do Exemplo (1) é classificada como sentido Across (ii): “movimento sobre uma superfície 2D”. Já o Exemplo (8) possui o sentido Through (i): “movimento sobre uma superfície 3D”.

¹<https://www.english-corpora.org/coca/>

²<https://dictionary.cambridge.org/>

Preposição	Significado(s)
Across	(i) Posição perpendicular; (ii) Movimento sobre uma superfície 2D; (iii) Localização oposta; (iv) Distribuição; (v) Não espacial;
Into	(i) Movimento ou direção que leva ao enclausuramento; (ii) Movimento que resulta em contato físico ou colisão; (iii) Não espacial;
Onto	(i) Movimento que leva a um ponto em uma superfície 2D; (ii) Anexação; (iii) Não espacial;
Through	(i) Movimento sobre uma superfície 3D; (ii) Movimento que ultrapassa ou penetra uma barreira; (iii) Não espacial;
Via	(i) Parte de um percurso. (ii) Não espacial;

Tabela 2: Classificação de significados das preposições ACROSS, INTO, ONTO, THROUGH e VIA baseada no CAM e Bruckfield (2011).

3.3. Tradução das sentenças

Todas as sentenças do corpus em EN foram traduzidas utilizando os modelos GT e DL, nas versões publicamente disponíveis durante agosto e setembro de 2023 para as sentenças espaciais e setembro de 2024 para as não espaciais. Para o GT, utilizamos a biblioteca Python `googletrans==4.0.0-rc1`³, gratuita e ilimitada, que permite traduzir textos diretamente no código por meio da API Ajax do GT. Já para o DL, empregamos o serviço DeepL API Pro⁴, que oferece tradução gratuita de até 500.000 caracteres por mês. Como já citado anteriormente, para facilitar a comparação, disponibilizamos traduções de referência feitas por um profissional para todas as sentenças, permitindo uma avaliação mais precisa da qualidade em relação ao padrão ouro.

3.4. Formalização das sentenças

A partir do trabalho de Spranger et al. (2016), definimos cada intervalo de tempo t como um

conjunto de pontos e usamos o predicado $occurs_in(\theta, t)$ para denotar que um evento θ ocorre durante o intervalo t . Com base em Freksa & Kreutzmann (2016), os eventos θ são definidos por meio do conjunto de treze relações qualitativas espaço-temporais (Figura 3).

Por *default*, assumimos um espaço tridimensional para todos os objetos em nossas representações de movimento nas cenas. Para representar as informações espaciais em sentenças como as do Exemplo (1), em que a preposição “across” denota o movimento de atravessar uma superfície, definimos uma função $surface(r)$. Essa função mapeia relações como *during* ou *contains*, projetando um objeto em uma superfície bidimensional.

Relações mereotopológicas foram modeladas com base no RCC-8 (Randell et al., 1992): $\{dc, ec, po, eq, tpp, ntp, tpp^{-1}, ntp^{-1}\}$. Para formalizar uma sentença como a gerada pela tradução do GT no Exemplo (1), definimos uma Região de Referência (RR), que é uma parte da região R , ou Fundo, localizada fora da área onde a ação executada pelo objeto F , a Figura, ocorre. A Região de Referência é separada do restante de R por uma linha transversal (denominada por nós de *meridiano*), que liga R em dois pontos distantes (não consecutivos) e não toca F : $R_{op} = ntp(F, R)$. Já para formalizar a sentença original em EN e a tradução do GT no Exemplo (9), definimos uma Região Imediatamente Anterior (RIA), que está localizada entre a Figura e o Fundo (G). A RIA e a Figura se sobrepõem parcialmente antes do possível choque contra o Fundo e está externamente conectada a ele: $RIA = EC(R, G)$.

Para representar a relação entre o predicado $occurs_in(\theta, t)$ e as relações qualitativas apresentadas na Figura 3, utilizamos o conectivo $\Leftarrow$, que denota uma *implicação cancelável*. Essa implicação representa um raciocínio que, embora racionalmente convincente, carece de validade dedutiva. Nesse contexto, as premissas do argumento oferecem suporte racional para a conclusão, mas é possível que estas sejam verdadeiras enquanto a última permanece falsa. Em suma, a conexão entre as premissas e a conclusão é provisória e pode ser anulada por informações adicionais.

Por fim, optamos por manter a metalinguagem utilizada nas formalizações originalmente em EN, traduzindo apenas os objetos que denotam a Figura e o Fundo nas sentenças analisadas.

³<https://libraries.io/pypi/googletrans>

⁴<https://www.deepl.com/en/pro-api>

3.5. Análise manual de erros de tradução

Inicialmente, foram analisadas 145 sentenças espaciais traduzidas pelo GT e DL, totalizando 290 sentenças. Essas traduções foram classificadas como (C)orretas, com (S)entido equivocado ou (P)rojeção inadequada, sendo esta última a incorporação incorreta da Maneira do movimento no verbo em PT, em vez de usar adjuntos (ver Tabela 4). Em seguida, foram analisadas outras 290 traduções com preposições não espaciais, comparadas com as traduções de referência e anotadas binariamente quanto à presença de erros. Para verificar a associação entre erros espaciais e não espaciais, foi aplicado o teste χ^2 de Pearson (R Core Team, 2021).

4. Resultados e discussão

Nesta seção, discutiremos os resultados da análise formal das sentenças traduzidas, com foco nas diferenças qualitativas capturadas nas formalizações. Iniciaremos sintetizando os resultados, destacando as formalizações das sentenças apresentadas nos Exemplos (1), (8) e (9). Em seguida, abordaremos os desafios enfrentados pelos tradutores automáticos, analisando os erros de tradução e as implicações desses achados para a compreensão das nuances espaciais nas traduções.

4.1. Resultados das formalizações

As fórmulas apresentadas na Tabela 3 descrevem as relações espaciais qualitativas entre a sentença original e suas respectivas traduções. Nelas, os intervalos de tempo são representados por t_1 , t_2 e t_3 : t_1 e t_3 correspondem, respectivamente, aos intervalos inicial e final, enquanto t_2 denota um intervalo intermediário entre t_1 e t_3 . Essa estrutura temporal permite analisar como as traduções capturam as dinâmicas espaciais ao longo do tempo.

As formalizações da Tabela 3 permitem ilustrar a diferença de sentido discutida nas traduções da Seção 1. Na sentença original, a preposição ACROSS é categorizada com o sentido (ii) (cf. Tabela 2). Entretanto, a tradução do GT opta pelo sentido (iii). A expressão “do outro lado” implica que a ação executada pelo indivíduo, *ele*, ocorreu em uma parte do *rio* que está separada da região de referência (*RR*), diferenciando-se da região onde a ação ocorre na sentença original, e alinhando-se com a tradução fornecida pelo DL.

De maneira semelhante, nas formalizações do Exemplo (8) e suas traduções, apresentadas na

Original: He swam across the river.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3\}, t_1 < t_2 < t_3$
 $occurs_in(moves_across(he, river), t) \Leftarrow$
 $river' = surface(river) \wedge$
 $starts(he, river', t_1) \wedge$
 $during(he, river', t_2) \wedge$
 $finishes(he, river', t_3)$

GT: Ele nadou do outro lado do rio.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3\}, t_1 < t_2 < t_3$
 $occurs_in(moves_on_opposite_side(ele, rio_{op}), t) \Leftarrow$
 $rio' = surface(rio_{op}) \wedge$
 $starts(ele, rio', t_1) \wedge$
 $during(ele, rio', t_2) \wedge$
 $finishes(ele, rio', t_3)$

DL: Ele atravessou o rio a nado.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3\}, t_1 < t_2 < t_3$
 $occurs_in(moves_across(ele, rio_{op}), t) \Leftarrow$
 $rio' = surface(rio_{op}) \wedge$
 $starts(ele, rio', t_1) \wedge$
 $during(ele, rio', t_2) \wedge$
 $finishes(ele, rio', t_3)$

Tabela 3: Formalizações da sentença original e das traduções do Exemplo (1).

Tabela 4, podemos observar diferenças qualitativas relacionadas às informações espaciais. Nesse exemplo, a preposição THROUGH é utilizada no sentido (i), conforme detalhado na Tabela 2.

Como pode-se observar, as três relações $\langle starts, during, finishes \rangle$ foram aplicadas em todas as sentenças da Tabela 4. Essa escolha reflete que o evento possui um ponto de entrada e outro de saída em relação ao ponto de referência, representada pela *multidão*. As diferenças entre as frases estão na forma como a ação foi executada.

No Exemplo (8), a sentença original descreve o movimento da Figura de um ponto fora ou dentro da multidão em direção à frente, enfrentando dificuldades. Essa dificuldade é refletida no verbo em EN *to struggle*. Da mesma forma, os tradutores automáticos GT e DL escolheram traduzir essa informação diretamente com verbos de maneira semelhantes em PT, como “lutar” e “se debater”, resultando em traduções que soam excessivamente literais. Uma tradução mais idiomática seria: “Ele atravessou a multidão *com dificuldade* até chegar à frente.” Nessa versão, o ato de “atravessar” é preservado pelo verbo, enquanto a dificuldade da ação é transmitida pelo adjunto adverbial “com dificuldade”, o

Original: He struggled through the crowd till he reached the front.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3\}, t_1 < t_2 < t_3$
occurs_in(arduously(moves_through(he, crowd), t) $\Leftarrow$
starts(he, crowd, t_1) $\wedge$
during(he, crowd, t_2) $\wedge$
finishes(he, crowd, t_3)

GT: Ele lutou no meio da multidão até chegar à frente.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3\}, t_1 < t_2 < t_3$
occurs_in(fights(ele, multidão) $\wedge$
moves_to(ele, multidão), t) $\Leftarrow$
starts(ele, multidão, t_1) $\wedge$
during(ele, multidão, t_2) $\wedge$
finishes(ele, multidão, t_3)

DL: Ele se debateu entre a multidão até chegar à frente.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3\}, t_1 < t_2 < t_3$
occurs_in(flounders(ele, multidão) $\wedge$
moves_to(ele, multidão), t) $\Leftarrow$
starts(ele, multidão, t_1) $\wedge$
during(ele, multidão, t_2) $\wedge$
finishes(ele, multidão, t_3)

Tabela 4: Formalizações da sentença original e das traduções do Exemplo (8).

que está mais alinhado com o padrão de lexicalização e o estilo retórico do PT (Talmy, 2000a,b; Slobin, 1996).

Para representar essa distinção nas formalizações, introduzimos um predicado de segunda ordem, *arduously*. Na Tabela 4, o esforço associado à ação expressa pelo verbo *to struggle* em EN é capturado por esse predicado. Em contraste, “lutar” e “debater-se” nas traduções automáticas denotam eventos individualizados, representados por “*fights*” e “*flounders*”, respectivamente. As informações apresentadas resumem os desafios enfrentados pelo GT e pelo DL ao traduzir as nuances relacionadas à forma como os eventos ocorrem, o que resulta em erros de tradução.

As formalizações do Exemplo (9), que contém a preposição INTO no texto original, também permitem destacar diferenças qualitativas que não foram captadas nas traduções automáticas. Na Tabela 5, apresentamos a representação lógica do texto em EN e das traduções em PT.

As formalizações da Tabela 5, assim como os exemplos anteriores, revelam as dificuldades dos sistemas de TAN em traduzir com precisão informações espaciais. Na sentença original, a preposição “into” corresponde à segunda acepção da Tabela 2, que indica “movimento em direção a uma barreira ou obstáculo”. A cena sugere

Original: He just about stops himself from flying into the wall and nurses the car back to the pits.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3, t_4\}, t_1 < t_2 < t_3, < t_4$
ria = EC(r, wall)
occurs_in(moves_into(he, ria), t) $\Leftarrow$
before(he, ria, t_1) $\wedge$
meets(he, ria, t_2) $\wedge$
before(he, wall, t_3) $\wedge$
occurs_in(moves_into(he, pits), t_4)

GT: Ele quase se impede de voar para a parede e amamenta o carro de volta aos boxes.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3, t_4\}, t_1 < t_2 < t_3, < t_4$
occurs_in(moves_to(ele, parede), t) $\Leftarrow$
before(ele, parede, t_1) $\wedge$
meets(ele, parede, t_2) $\wedge$
overlaps(ele, parede, t_3) $\wedge$
occurs_in(nurses(moves_to(ele, boxes), t_4)

DL: Por pouco ele não voa contra o muro e leva o carro de volta para os boxes.

$\forall t \in \{t_1, t_2, t_3, t_4\}, t_1 < t_2 < t_3, < t_4$
ria = EC(R, muro)
occurs_in(moves_to(ele, ria), t) $\Leftarrow$
before(ele, ria, t_1) $\wedge$
meets(ele, ria, t_2) $\wedge$
before(ele, muro, t_3) $\wedge$
occurs_in(moves_into(ele, boxes), t_4)

Tabela 5: Formalizações da sentença original e das traduções do Exemplo (9).

que esse movimento, desviado por uma mudança de direção, resultaria em um choque violento — uma nuance perdida na tradução do GT. Nela, a preposição “para” implica que a Figura, “ele”, se move em direção ao Fundo, “a parede”; no entanto, essa preposição não implica necessariamente um impacto em PT. Além disso, a tradução do GT soa estranha e sugere que a Figura quase evita a colisão, mas não consegue. Essa nuance foi explicitada pelas relações *meets* e *overlaps*, que indicam que o carro entrou em contato com a parede e a penetrou devido ao impacto da colisão. A tradução literal do GT também causa estranhamento ao indicar que a Figura amamenta o carro ao levá-lo de volta aos boxes. Para representar essa ação, utilizamos o predicado “*nurses*” que denota o evento individualizado de amamentar.

Em contraste, na tradução do DL, a preposição “contra” sugere que a Figura quase colide com um obstáculo, mas a estrutura da frase, em si, cria confusão ao desencadear a leitura de que ambos os eventos não ocorreram. Em outras palavras, pela tradução, podemos ser levados

a entender que há uma relação de dependência entre colidir contra o muro e levar o carro de volta aos boxes. Sendo assim, se a colisão foi evitada, a condução aos boxes não aconteceu. Uma tradução mais natural da sentença original seria: “Ele conseguiu evitar por pouco que o carro se arrebitasse contra o muro, conduzindo-o em seguida com cuidado para os boxes.” Essa versão capta a ideia de que a Figura evita o choque violento e consegue levar o carro de volta aos boxes.

Em geral, as formalizações aqui apresentadas destacam as dificuldades dos modelos de TAN em capturar aspectos qualitativos da representação espacial. As análises ressaltam a necessidade de abordagens mais refinadas que considerem as nuances linguísticas e contextuais, visando melhorar a qualidade das traduções nestes contextos.

4.2. Resultados da análise de erros

A seguir, apresentamos os resultados da análise manual de erros, respaldados por cálculos estatísticos, segmentados entre sentenças com e sem espacialidade, conforme mostrado nas Tabelas 6 e 7. Por fim, exploramos a distribuição de acertos por tipos específicos de erros espaciais.

4.2.1. Análise do modelo DL

De modo geral, como ilustrado na Tabela 6, observa-se que o DL cometeu menos erros de tradução. Para sentenças com preposições não espaciais, o sistema obteve uma taxa de acertos de 88,27%, contra 11,72% de erros. Em contrapartida, nos contextos espaciais, a taxa de acertos foi de 78,62%, enquanto os erros totalizaram 21,37%. A análise estatística dos resultados ($\chi^2 = 4,8933$; $p = 0,0270$) mostra que há diferenças significativas entre os erros e acertos das traduções de sentenças com e sem elementos espaciais.

Esses resultados indicam que o DL enfrenta maiores dificuldades ao traduzir sentenças contendo preposições em contextos espaciais, embora obtenha maior precisão ao lidar com sentenças contendo preposições não espaciais. O Exemplo (10) (amostra *Across-CAM-3-2*) ilustra a dificuldade do GT (10-a) e do DL (10-b) em lidar com a polissemia de *ACROSS*. Nota-se que tanto o GT quanto o DL falham ao alterar o sentido original: o GT sugere que o Atlântico é parte da Europa, e o DL implica que os EUA estão na Europa. No exemplo, apresentamos uma tradução profissional após a sentença original em EN.

	Não-Espaciais	Espaciais	Total
Acertos	128	114	242
Erros	17	31	48
Total	145	145	290

Tabela 6: Distribuição de acertos e erros do DL.

(10) America is *across* the Atlantic from Europe.

Os Estados Unidos estão *do outro lado do* Atlântico em relação à Europa.

a. ? A América está *do outro lado*
The America be-PRES of-the other side
do Atlântico da Europa.
of-the Atlantic of-the Europe.

b. ? Os Estados Unidos estão *do*
The United States be-PRES of-the
outro lado do Atlântico, na Europa.
other side of-the Atlantic in Europe.

4.2.2. Análise do modelo GT

O sistema GT, por outro lado, cometeu um número consideravelmente maior de erros de tradução no geral, apresentando uma taxa de acertos de 64,48% contra 35,52% de erros totais. Desses, houve 57,24% de acertos e 42,75% de erros em contextos não espaciais. No entanto, observou-se uma tendência maior de acertos em sentenças com espacialidade, com 71,72% de acertos e 28,27% de erros. Os resultados demonstram uma diferença significativa entre os valores de acertos e erros nos contextos não espaciais e espaciais ($\chi^2 = 6,6398$, $p < 0,001$), mas com uma interpretação inversa das subcategorias espacial/não-espacial em relação ao sistema DL.

O Exemplo (10) (*Across-COCA-5-2*) ilustra a falha dos GT (11-a) e do DL (11-b) em capturar a nuance da preposição *ACROSS*. O GT traduz incorretamente “talk across” como “falar do outro lado”, enquanto o DL usa “falar de mim”, alterando o sentido original. Ambas as traduções não refletem a intenção da frase, que expressa indignação. Para facilitar a comparação, apresentamos, logo após a sentença original em EN, uma tradução profissional.

	Não-Espaciais	Espaciais	Total
Acertos	83	104	187
Erros	62	41	103
Total	145	145	290

Tabela 7: Distribuição de acertos e erros do GT.

(11) How dare you... talk *across* me, as if I were a child .

Como ousa... falar *por cima de* mim, como se eu fosse uma criança.

a. ? Como você ousa... falar *do outro*
How you dare... speak *of-the other*
lado, como se eu fosse uma criança.
side, as if I be-SUBJ a child

b. ? Como ousa... falar *de* mim como se
How dare... speak *of* me, as if
eu fosse uma criança
I be-SUBJ a child

4.2.3. Análise dos erros espaciais específicos

A Tabela 8 apresenta os tipos de erros identificados em sentenças que envolvem elementos de espacialidade, dividindo-os em três categorias: (C)orreto, erros de (S)entido e erros de (P)rojeção. Essa categorização possibilita uma análise mais detalhada da precisão dos sistemas de TAN e das dificuldades que eles enfrentam na representação de informações espaciais.

Modelo	Erros Espaciais		
	(C)orreto	(S)entido	(P)rojeção
DL	114	12	19
GT	104	15	26
Total	218	27	45

Tabela 8: Categorização dos tipos de erros espaciais nas traduções automáticas.

A análise da Tabela 8 mostra que os dois modelos apresentaram taxas relativamente próximas de erros de (S)entido, 44,4% e 55,5% para o DL e GT, respectivamente. Esses erros ocorrem quando a tradução, apesar de estar gramaticalmente correta, não transmite o sentido original, podendo ser causada pela complexidades da polissemia das preposições espaciais. Um exemplo é a tradução da preposição ACROSS, que o GT frequentemente traduz como “do outro lado”, desconsiderando o contexto espacial implícito.

Além disso, os erros de (P)rojeção, que envolvem a incorporação direta dos componentes semânticos do predicado na construção “verbo de Maneira + satélite” do EN para o PT, foram menos frequentes no sistema DL, com 42,2% (19 ocorrências), em comparação com 57,7% (26 ocorrências) no GT. Esses erros são influenciados pelos diferentes padrões de lexicalização das informações espaciais entre as duas línguas, como discutido por Talmy (1985, 2000a,b) e evidenciado por Slobin (1996, 2005). Compreender essas diferenças é essencial para avaliar e aprimorar os sistemas de TAN, pois revela como nuances específicas podem ser perdidas ou mal interpretadas durante o processo de tradução.

5. Conclusão

Neste trabalho, investigamos a TAN de sentenças do EN para o PT com e sem conhecimento espacial linguisticamente codificado. Para tanto, coletamos sentenças em EN divididas igualmente em dois grupos, relacionados a contextos interpretativos que envolvem ou não a representação do espaço. As sentenças foram extraídas dos corpora CAM e COCA e traduzidas do EN para o PT pelos sistemas GT e DL. Adicionalmente, realizamos traduções humanas das sentenças, a fim de melhor avaliar as traduções automáticas.

Utilizando métodos de REQ, formalizamos as informações espaciais de sentenças que continham pelo menos uma das preposições apresentadas na Tabela 2, com o objetivo de destacar as diferenças qualitativas presentes nas línguas fonte e alvo que não foram capturadas pelos modelos. Essas diferenças estavam principalmente relacionadas à polissemia das preposições e às particularidades ligadas aos padrões de lexicalização e ao estilo retórico em ambas as línguas, fenômeno denominado neste trabalho como projeção sintática.

Também analisamos as traduções de todas as sentenças coletadas e verificamos que os erros de (S)entido relacionados à polissemia e os erros de (P)rojeção sintática representam desafios para a TAN. Além disso, examinamos a relação entre os erros dos tradutores automáticos em sentenças com e sem espacialidade. Os resultados indicam que, embora o DL apresente um desempenho global superior ao GT, ele encontrou significativamente mais dificuldades na tradução de sentenças com espacialidade, o que sugere que a representação intralinguística do espaço continua sendo um desafio para os principais sistemas de TAN.

Para tornar nossos resultados mais consistentes, seria interessante formalizar mais exemplos e, especialmente, analisar traduções automáticas para outras línguas alvo de diferentes famílias linguísticas. Uma dificuldade óbvia que se coloca é que esses acréscimos consomem muito tempo, pois devem ser feitos manualmente. Além disso, reconhecemos a complexidade de desenvolver métodos automáticos capazes de representar logicamente o conhecimento espacial e incorporar camadas formais aos modelos de tradução automática neural. Sem o acréscimo de representações explícitas do conhecimento linguístico-espacial aos modelos, a tradução automática pode continuar enfrentando desafios como os apresentados neste trabalho por muito tempo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) – Brasil – Código 001.

Referências

- Allen, James F. 1983. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communications of the ACM* 26(11). 832–843. doi 10.1145/182.358434
- Alonso, Rosa Alonso. 2022. Thinking-for-translating in comics: a case-study of Asterix. *Perspectives* 32(1). 100–118. doi 10.1080/0907676X.2022.2063062
- Bender, Emily M. 2016. Linguistic typology in natural language processing. *Linguistic Typology* 20(3). 645–660. doi 10.1515/lingty-2016-0035
- Berman, Ruth A. & Dan Isaac Slobin. 1994. *Relating events in narrative: A crosslinguistic developmental study*. Psychology Press 1st edn.
- Bruckfield, Andrew. 2011. *Prepositions: The ultimate book-mastering English prepositions*. Lulu
- Chen, Juan, Anthony G Cohn, Dayou Liu, Shengsheng Wang, Jihong Ouyang & Qiangyuan Yu. 2015. A survey of qualitative spatial representations. *The Knowledge Engineering Review* 30(1). 106–136. doi 10.1017/S0269888913000350
- Cifuentes-Férez, Paula & Ana Rojo. 2015. Thinking for translating: A think-aloud protocol on the translation of manner-of-motion verbs. *Target* 27(2). 273–300. doi 10.1075/target.27.2.05cif
- Cohn, Anthony G., Brandon Bennett, John Godday & Nicholas M. Gotts. 1997. Representing and reasoning with qualitative spatial relations about regions. Em *Spatial and temporal reasoning*, 97–134. Springer. doi 10.1007/978-0-585-28322-7_4
- Cohn, Anthony G & Jochen Renz. 2008. Qualitative spatial representation and reasoning. *Foundations of Artificial Intelligence* 3. 551–596. doi 10.1016/S1574-6526(07)03013-1
- Coventry, Kenny R. & Simon C. Garrod. 2004. *Saying, seeing and acting: The psychological semantics of spatial prepositions*. Psychology Press. doi 10.4324/9780203641521
- Dabre, Raj, Chenhui Chu & Anoop Kunchukuttan. 2020. A survey of multilingual neural machine translation. *ACM Computing Surveys* 53(5). 1–38. doi 10.1145/3406095
- Fernandes, Rafael, Rodrigo Souza, Marcos Lopes, Paulo Santos & Thomas Finbow. 2024. Spatial information challenges in English to Portuguese machine translation. Em *16th International Conference on Computational Processing of Portuguese (PROPOR)*, 620–626. [↗](#)
- Ferreira, Thayse Letícia & Renato Miguel Basso. 2020. Sobre as preposições de trajetória do Português Brasileiro: tipologia e valor aspectual. *Diadorim: revista de estudos linguísticos e literários* 22(2). 460–496. doi 10.35520/diadorim.2020.v22n2a32554
- Freksa, Christian. 1991. Conceptual neighborhood and its role in temporal and spatial reasoning. Em *Decision Support Systems and Qualitative Reasoning*, 181–187. North-Holland
- Freksa, Christian. 1992. Temporal reasoning based on semi-intervals. *Artificial intelligence* 54(1–2). 199–227. doi 10.1016/0004-3702(92)90090-K
- Freksa, Christian & Arne Kreutzmann. 2016. Neighborhood, conceptual. *International Encyclopedia of Geography* 1–12. doi 10.1002/9781118786352.wbieg0935
- Herskovits, Annette. 1985. Semantics and pragmatics of locative expressions. *Cognitive science* 9(3). 341–378. doi 10.1016/S0364-0213(85)80003-3
- Ibarretxe-Antuñano, Iraide. 2015. Going beyond motion events typology: The case of basque as a verb-framed language. *Folia Linguistica* 49(2). 307–352. doi 10.1515/flin-2015-0012

- Kelleher, John D. & Simon Dobnik. 2023. Distributional semantics for situated spatial language? functional, geometric and perceptual perspectives. Em *Probabilistic Approaches to Linguistic Theory*, CSLI Publications. [↗](#)
- Lakoff, George & Mark Johnson. 2008. *Metaphors we live by*. University of Chicago Press
- Levinson, Stephen C. & David P. Wilkins. 2006. *Grammars of space: Explorations in cognitive diversity*. Cambridge University Press. [doi](#) [10.1017/CB09780511486753](#)
- Ligozat, Gérard, Jakub Nowak & Didier Schmitt. 2007. From language to pictorial representations. Em *Language and Technology Conference (L&TC)*, [↗](#)
- Lücke, Dominik & Till Mossakowski. 2010. A much better polynomial time approximation of consistency in the LR calculus. Em *5th Starting AI Researchers' Symposium*, 175–185. [doi](#) [10.3233/978-1-60750-676-8-175](#)
- Mani, Inderjeet & James Pustejovsky. 2012. *Interpreting motion: Grounded representations for spatial language*. Oxford University Press
- McCleary, Leland & Evani Viotti. 2004. Representação do espaço em Inglês e Português Brasileiro: observações iniciais. *Revista da Anpoll* 1(16). [doi](#) [10.18309/anp.v1i16.552](#)
- Oliveira, Aparecida. 2012. Cognitive relations in the semantics of brazilian-portuguese preposition “em”. Em *Selected Papers from UK-CLA Meetings*, vol. 1, 19–45
- Oliveira, Aparecida. 2021. A hipótese pensar para falar na interlíngua: Estudo de caso da expressão do movimento em português l2/inglês l1 e vice-versa. Em *IX Conferência Linguística e Cognição: Diálogos Imprescindíveis*, [↗](#)
- Oliveira, Aparecida & Rafael M Fernandes. 2022. Expressing complex paths of motion in Brazilian Portuguese: a closer look at frog stories. Em *Estudos de Linguística, Ensino e Literatura em Múltiplas Perspectivas*, 21–35. Universidade Federal de Viçosa
- R Core Team. 2021. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria. [↗](#)
- Randell, David A, Zhan Cui & Anthony G Cohn. 1992. A spatial logic based on regions and connection. Em *3rd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, vol. 92, 165–176
- Rodrigues, Edilson, Paulo Santos & Marcos Lopes. 2017. Pinning down polysemy: A formalisation for a Brazilian Portuguese preposition. *Cognitive Systems Research* 41. 84–92. [doi](#) [10.1016/j.cogsys.2016.07.001](#)
- Rodrigues, Edilson J, Paulo E Santos, Marcos Lopes, Brandon Bennett & Paul E Oppenheimer. 2020. Standpoint semantics for polysemy in spatial prepositions. *Journal of Logic and Computation* 30(2). 635–661. [doi](#) [10.1093/logcom/exz034](#)
- Scivos, Alexander & Bernhard Nebel. 2004. The finest of its class: The natural point-based ternary calculus LR for qualitative spatial reasoning. Em *International Conference on Spatial Cognition*, 283–303. [doi](#) [10.1007/978-3-540-32255-9_17](#)
- Shan, Xinxin. 2018. A review on motion event from a typological perspective. *Theory and Practice in Language Studies* 8(11). 1469–1477. [doi](#) [10.17507/tp1s.0811.11](#)
- Slobin, Dan Isaac. 1985. *The crosslinguistic study of language acquisition*. Psychology Press
- Slobin, Dan Isaac. 1987. Thinking for speaking. *Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society* 13. 435–445
- Slobin, Dan Isaac. 1996. From “thought and language” to “thinking for speaking”. Em *Rethinking Linguistic Relativity*, 70–96. Cambridge University Press
- Slobin, Dan Isaac. 2005. Relating narrative events in translation. Em *Perspectives on Language and Language Development: Essays in Honor of Ruth A. Beriman*, 115–129. Kluwer Academic Publishers. [doi](#) [10.1007/1-4020-7911-7_10](#)
- Spranger, Michael, Jakob Suchan & Mehul Bhatt. 2016. Robust natural language processing-combining reasoning, cognitive semantics and construction grammar for spatial language. Em *25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, 2908–2914
- Talmy, Leonard. 1985. Lexicalization patterns: Semantic structure in lexical forms. Em *Language typology and syntactic description*, vol. 3, 36–149. Cambridge University Press
- Talmy, Leonard. 2000a. *Toward a cognitive semantics: Concept structuring systems*. MIT Press. [doi](#) [10.7551/mitpress/6847.001.0001](#)

- Talmy, Leonard. 2000b. *Toward a cognitive semantics: Typology and process in concept structuring*. MIT Press.
 [10.7551/mitpress/6848.001.0001](https://doi.org/10.7551/mitpress/6848.001.0001)
- Taylor, Holly A. & Barbara Tversky. 1996. Perspective in spatial descriptions. *Journal of Memory and Language* 35(3). 371–391.
 [10.1006/jmla.1996.0021](https://doi.org/10.1006/jmla.1996.0021)
- Tolkien, J. R. R. 1937. *The Hobbit, or there and back again*. George Allen & Unwin
- Tolkien, J. R. R. 2001. *O Hobbit*. WMF Martins Fontes. Tradução do trabalho original publicado em 1937 como *The Hobbit, or There and Back Again*
- Tversky, Barbara. 2003. Structures of mental spaces: How people think about space. *Environment and Behavior* 35(1). 66–80.
 [10.1177/0013916502238865](https://doi.org/10.1177/0013916502238865)
- Vaswani, Ashish, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N Gomez, Łukasz Kaiser & Illia Polosukhin. 2017. Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)* 
- Yang, Shuoheng, Yuxin Wang & Xiaowen Chu. 2020. A survey of deep learning techniques for neural machine translation. arXiv [cs.CL].
 [10.48550/arXiv.2002.07526](https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.07526)
- Zang, Xiaoxue, Ashwini Pople, Marynel Vázquez, Kevin Chen, Juan Carlos Niebles, Alvaro Soto & Silvio Savarese. 2018. Translating navigation instructions in natural language to a high-level plan for behavioral robot navigation. Em *Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 2657–2666.  [10.18653/v1/D18-1286](https://doi.org/10.18653/v1/D18-1286)
- Zlatev, Jordan & Peerapat Yangklang. 2004. A third way to travel: The place of thai in motion-event typology. Em *Relating Events in Narrative*, vol. 2, 159–190. Lawrence Erlbaum Associates
- Zwarts, Joost & Renato Miguel Basso. 2016. Counterdirectionality crosslinguistically: comparing Brazilian Portuguese and Dutch. *Revista da ABRALIN* 15(1). 