Revista Matemática, Ensino e Cultura

e-ISSN: 2675-1909 | ISSN: 1980-3141
N. 44, e2023002
10.37084/REMATEC.1980-3141.2023.n44.pe2023002.id505

A trama Polifônica das grandes Revoluções Tecnológicas – da revolução agrícola às revoluções industriais e à revolução digital

The Polyphonic plot of the great Technological Revolutions – from the agricultural revolution to the industrial revolutions and the digital revolution

La trama Polifónica de las grandes Revoluciones Tecnológicas – desde la revolución agrícola hasta las revoluciones industriales y la revolución digital

José D'Assunção Barros[1]

RESUMO

O artigo almeja introduzir uma nova possibilidade de leitura historiográfica acerca do grande arco de revoluções tecnológicas planetárias que demarcou a história da humanidade até hoje – a revolução agrícola, a revolução urbana, as duas revoluções industriais e a revolução digital – aplicando como conceito-chave a noção musical de 'polifonia'. Mostra-se como este conceito proporciona uma leitura mais interessante da história das revoluções tecnológicas, pois permite ultrapassar a visão das eras que se sucedem em períodos estanques, para introduzir a noção de que as revoluções tecnológicas entrelaçam-se como uma grande trama polifônica. O artigo é produto de palestra proferida no colóquio THEMA 1, e apoia-se em pesquisa exposta no capítulo autoral de abertura do livro coletivo *História Digital*, publicado recentemente e organizado pelo autor deste artigo.
Palavras-chave: Tecnologia; Revolução; Revolução Tecnológica; História da Ciência; História Digital.

ABSTRACT

The article aims to introduce a new possibility of historiographical reading about the great arc of planetary technological revolutions that have demarcated the history of humanity until today - the agricultural revolution, the urban revolution, the two industrial revolutions and the digital revolution - applying as a key-concept the musical notion of 'polyphony'. It shows how this concept provides a more interesting reading of the history of technological revolutions, as it allows us to go beyond the vision of eras that succeed the precedent era in static periods. Different from this, it is introduced the notion that technological revolutions intertwine as a large polyphonic plot. The article is the product of a lecture given at the THEMA 1 colloquium, and is based on research exposed in the authorial opening chapter of the collective book *Digital History*, recently published and organized by the author of this article.
Keywords: Tecnology; Revolution; Technological Revolution; History of science; Digital History.

RESUMEN

El artículo pretende introducir una nueva posibilidad de lectura historiográfica sobre el gran arco de revoluciones tecnológicas planetarias que demarcaron la historia de la humanidad hasta el día de hoy – la revolución agrícola, la revolución urbana, las dos revoluciones industriales y la revolución digital – aplicando como concepto-clave la noción musical de 'polifonía'. Muestra-se cómo este concepto proporciona una lectura más interesante de la historia de las revoluciones tecnológicas, ya que nos permite ir más allá de la visión de eras que se suceden una a otra en períodos estáticos. Por el contrario, se introduce la noción de que las revoluciones tecnológicas entrelazan-se formando una gran trama polifónica. El artículo es producto de una conferencia impartida en el coloquio THEMA 1, y se basa en una investigación expuesta en el capítulo autoral de apertura del libro colectivo *Historia Digital*, recientemente publicado y organizado por el autor de este artículo.
Palabras clave: Tecnología; Revolución; Revolución Tecnologica; Historia de la Ciencia; Historia Digital.

1 Doutor em História pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Professor-Associado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Nova Iguaçu, Rio de Janeiro, Brasil. Endereço para correspondência: Rua Pereira da Silva 251, bloco 01, ap.104 (bairro Laranjeiras), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CEP: 22222.1.140. E-mail: joseassun57@gmail.com

CC BY NC ND

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este artigo propõe aplicar – à leitura da História das Revoluções Tecnológicas – um sistema conceitual inspirado na Música – em especial, conforme veremos mais adiante, lançando mão do conceito de "polifonia". Nosso objetivo será elaborar, com apoio em uma chave de leitura inspirada neste conceito musical, uma visão panorâmica do grande arco histórico de revoluções tecnológicas que redefiniram a vida humana desde o período paleolítico até a mais recente Revolução Digital.

O texto deriva de uma palestra apresentada em um dos painéis temáticos do colóquio THEMA I, e traz como referência teórica o capítulo desenvolvido pelo autor no livro *História Digital* – obra coletiva recentemente publicada e organizada pelo autor deste mesmo artigo (BARROS, 2022). Em seguida, situaremos inicialmente o problema historiográfico que inspirou a referida palestra e o presente artigo.

Muito habitualmente as visões panorâmicas sobre a história das revoluções tecnológicas evocam a ideia de sucessivas eras tecnológicas, como se estas fossem compartimentos estanques na história da humanidade – com uma Era substituindo a outra que a antecedeu. A aventura tecnológica da humanidade inicia-se com a própria história do gênero humano, há 2.400.000 anos atrás. Por volta de 10.000 a.C, no contexto de finalização da Era do Gelo, teria ocorrido a primeira grande revolução tecnológica planetária – a revolução agrícola. Por volta de 3,500 a.C ocorre uma nova revolução planetária que introduz uma nova Era e encerra a anterior: a revolução urbana. Depois, nos séculos XVIII e XIX d.C, veremos as duas revoluções industriais – que também costumam ser tratadas no âmbito de uma única Era Industrial. Na última década do século XX temos a emergência de uma nova Era com a revolução digital.

Sustentaremos que esta leitura historiográfica em eras sucessivas – a qual costuma separar uma era da outra, como se tivéssemos uma história humana compartimentada – poderia ser aprimorada por uma chave de leitura que se baseasse no conceito musical de 'polifonia'. Demonstraremos isto com uma nova narrativa historiográfica que será desenvolvida nas próximas seções deste livro. Por ora, esclareceremos o conceito de "polifonia", central em nossa proposta de narrativa historiográfica para o problema em questão.

O CONCEITO DE POLIFONIA

O conceito de polifonia é muito familiar à Teoria Musical (VAN DER WERF, 1997; DEVOTO, 2015; TENZER, 2019). Na música e suas realizações criativas – as composições musicais elaboradas nos mais diversos gêneros musicais, da música popular à música erudita – alguns modos básicos de apresentação musical foram surgindo na história da música deste a Antiguidade até a Idade Moderna (SALZER, 1982, p.264). Se considerarmos o sistema musical que as civilizações ocidentais herdaram dos gregos antigos, o primeiro modo de apresentação musical conhecido – e na verdade o mais simples – é a chamada *monodia*.

Na sua forma histórica mais pura, a monodia corresponde a uma melodia única, sem acompanhamento harmônico ou de qualquer outro tipo, tal como ocorria nos antigos cantos gregorianos da Igreja cristã medieval (LEVY, 1998; KELLY, 1992; CLAIRE, 2018). Não

obstante, podemos considerar como realizações monódicas também as melodias cantadas ou tocadas com o apoio de instrumentos de percussão de som indeterminado, ou as realizações musicais que – ainda que acompanhadas por instrumentos vários – não produzem uma trama harmônica de apoio, a exemplo da música dos trovadores medievais. O modo de apresentação musical definível como 'monodia' pode ser exemplificado por uma melodia tocada isoladamente por um instrumento de sopro, como a flauta, ou por um grande grupo de cantores que estejam entoando juntos, em uníssono, uma única melodia. Se acrescentarmos a estas realizações alguns instrumentos que apenas reforçam a condução melódica com alguns efeitos, mas sem constituírem novas melodias, ainda assim teremos a prática da monodia. Os músicos, não obstante, desenvolveram outros dois modos de apresentação musical, mais complexos.

O segundo modo de apresentação musical a ter surgido na história foi a polifonia, o que, no âmbito da história da música nas civilizações ocidentais, ocorreu em fins da Idade Média e início da Idade Moderna europeia (JEPPESEN, 1992). A textura polifônica corresponde àquela modalidade de música na qual podemos ouvir claramente, com protagonismo musical próprio para cada uma delas, distintas vozes melódicas que interagem umas com as outras. Pensemos, por exemplo, na música do compositor barroco Johann Sebastian Bach (1685-1750), ou nos quartetos de Jazz nos quais cada instrumento conduz sua voz com uma mesma importância na trama melódica. A modalidade polifônica de música desenvolve-se de maneira distinta em relação ao que ocorre naquelas canções mais singelas – para as quais podemos encontrar uma infinidade de exemplos – em que existe apenas uma melodia principal que recebe o apoio harmônico de outros instrumentos, mas sem que estes tenham uma importância maior no que concerne à condução mais propriamente melódica do discurso musical.

Este terceiro padrão, baseado em uma só melodia apoiada por uma harmonia de acordes que fornecem o clima e o jogo de tensões e relaxamentos da música, é chamado de *homofonia*, constituindo um modo de expressão musical distinto da polifonia, mas também diferente da simples monodia. A Homofonia apoia-se no conceito de acorde – e, historicamente, no mesmo circuito de realizações musicais que estamos considerando – consolida-se na Europa e Américas a partir do século XVII. Tanto Homofonia como Polifonia são modos de apresentação musical que podem se beneficiar da ideia de harmonia e do conceito musical de 'acordes'. Para a discussão conceitual que nos interessa, no entanto, basta-nos o conceito de 'polifonia'.

O que sustentaremos neste artigo é que a história de diversos aspectos e processos – inclusive a história das grandes revoluções tecnológicas que abarcaram todo o planeta desde o início da aventura humana – pode ser particularmente beneficiada por uma leitura polifônica. A longa história das revoluções planetárias – a revolução agrícola, revolução urbana, as duas revoluções industriais e a revolução digital – não se desenvolveu de maneira compartimentada, em seções estanques, com novas eras iniciando-se onde as anteriores se encerram. Podemos adotar a metáfora de que a história das revoluções tecnológicas é uma magnífica sinfonia onde as grandes melodias trazidas pelas revoluções tecnológicas vão surgindo na história humana, cada qual a seu tempo, mas sem cancelar ou substituir as melodias anteriores. A melodia trazida pela revolução agrícola, na passagem do paleolítico

ao neolítico, não desaparece com a nova melodia histórica trazida pela revolução urbana na Antiguidade histórica, e tampouco o mundo industrial substitui este já antigo mundo urbano, ou a Era Digital encerra a melodia tecnológica proporcionada pelas duas revoluções industriais. De acordo com nossa metáfora, cada nova melodia vai se superpondo à outra, sem encerrá-la, configurando o que podemos entender como uma grande trama polifônica através da História. Vejamos isso passo a passo.

DA REVOLUÇÃO AGRÍCOLA À REVOLUÇÃO URBANA

A humanidade habita o planeta Terra desde 2,4 milhões de anos atrás, através das diversas espécies humanas que já existiram. O *Homo sapiens,* de sua parte, co ar seguir animais em sua atividade nômade de caçadores que antes praticavam a economia apropriativa, e passam a domesticar animais – seja para abatê-los para alimentação, seja para se valerem de sua força animal de modo a realizar trabalhos como o auxílio no cultivo da terra ou o transporte. As tecnologias do cultivo e da domesticação de animais – ao lado da produção de novos instrumentos próprios à agricultura, tais como os vasos de cerâmica de todos os tipos – demarcam, deste modo, este grande processo que é conhecido como Revolução Agrícola.

As novas Eras conduzidas pelos desenvolvimentos tecnológicos também costumam trazer progressivamente um novo patamar de controle de energia para os seres humanos (KAKU, 2000, p.297-298). Se um dia, como qualquer outro animal, os humanos contaram apenas com a energia produzida pelos seus próprios músculos, ao criarem instrumentos como lanças e clavas, no decorrer do paleolítico, puderam agregar uma nova extensão de força aos seus braços e punhos. Da mesma forma, com a Revolução Agrícola os humanos passaram a manipular, a seu favor, a energia animal. E novas conquistas de patamares energéticos ainda viriam.

Estabelecida a sociedade agrícola, entre 4.000 e 3.000 a.C assistimos a uma nova revolução importante na história humana. Chamamos a este grande processo de Revolução Urbana – pois seu aspecto mais visível é o surgimento das primeiras civilizações assentadas em cidades – mas esta grande revolução trouxe consigo muitas outras conquistas tecnológicas, entre as quais o desenvolvimento da escrita e a invenção da roda. O próprio surgimento da História – discurso que se constrói sobre o passado para finalidades diversas – pode ser incluído neste mesmo conjunto. De alguma maneira, a narrativa histórica é também uma espécie de conquista tecnológica, a qual permitiu aos seres humanos um maior domínio sobre o seu espaço-tempo imaginário e sobre a memória coletiva para finalidades diversas.

Conforme sustentamos, uma revolução planetária não cancela as conquistas das precedentes, mas se sobrepõe a elas e as incorpora. Assim, o mundo humano após a Revolução Urbana, demarcada por cidades que começavam a mudar mais uma vez a face do planeta, não eliminou o mundo trazido pela Revolução Agrícola, mas o incorporou. As sociedades humanas prosseguiram sendo sociedades agrícolas, embora agora também fossem – em importantes pontos do espaço habitado – sociedades urbanas. Na verdade, a Revolução Urbana não teria sido possível sem a Revolução Agrícola. Podemos entender a sucessão e coexistência das duas a partir da imagem musical da polifonia, à qual já nos referimos na segunda seção deste artigo: Contrapondo-se ao mundo nômade do paleolítico, a Revolução

Agrícola do neolítico introduz uma nova forma de organização social – baseada em aldeias sedentárias, exigidas para a prática da agricultura – como se fosse uma melodia que começa a soar na história humana por volta de 10.000 a.C para dali se estender ao futuro. Mas entre 4.000 e 3.000 a.C surge uma nova melodia que a esta se sobrepõe – a melodia introduzida pela Revolução Urbana – a qual passa a compor com a sociedade que já existia antes uma nova música.

Figura 1. A Era Urbana sobrepõe-se à Era Agrícola

Fonte: BARROS (2022, p. 18)

Os inícios da sociedade agrícola, demarcáveis em torno de 10.000 a.C, e a eclosão de cidades a partir da Revolução Urbana que ocorre entre 4.500 e 3.500 a.C, foram tão renovadores para a vida humana no planeta inteiro, que podemos dizer que estes grandes processos introduzem efetivamente novas Eras. As revoluções transversais que afetam a humanidade como um todo apresentam de fato esta característica de praticamente mudar a face do planeta, distinguindo um *antes* e um *depois*, e é por isso mesmo que podemos nos referir a elas como revoluções. Das cisões revolucionárias surge, por exemplo, a necessidade de nomear um novo período, e é neste sentido que a grande história da humanidade, anterior ao surgimento das primeiras cidades e civilizações, passa a ser seccionada em um período Paleolítico e um período Neolítico, este último também conhecido como Idade da Pedra Polida para distingui-lo do período anterior – a Idade da Pedra Lascada – quando os instrumentos feitos de pedra ainda não tinham a precisão que teriam a partir da sociedade agrícola instituída pela revolução neolítica.

Uma nova era tecnológica, como a das sociedades agrícolas do Neolítico, não é obviamente caracterizada apenas pela concretude de seus instrumentos materiais, mas por toda uma tecnologia igualmente abstrata, pela capacidade cognitiva que é introduzida e da qual os instrumentos são apenas a face mais visível. Os humanos neolíticos não são apenas construtores de instrumentos afiados e precisos de pedra polida e de vasilhames aptos a guardar os grãos produzidos pela prática agrícola. Eles desenvolvem novas capacidades, como a de compreender os processos cíclicos e naturais e, a partir daí, tornam-se aptos a aplicar uma nova capacidade de planejamento que envolve a semeadura, o cultivo e a colheita. Os humanos da sociedade agrícola são dotados de novas virtudes que se tornam imprescindíveis para a mobilização dos novos recursos tecnológicos que foram desenvolvidos, como a virtude da paciência de aguardar e respeitar os ciclos da natureza, e a empatia necessária para transformar lobos em cães.

De maneira análoga, os humanos que teriam a incumbência histórica de criar as primeiras civilizações urbanizadas precisarão estar aptos à divisão de trabalho, a uma multiespecialização que incluía funções diversas a serem desempenhadas por diferentes grupos como os dos guerreiros, comerciantes, artesãos, sem contar a permanência daqueles que seguiriam desempenhando as tarefas agrícolas típicas da era anterior. Era ademais um mun-

do que exigia grandes aglomerações e impunha trabalhos coletivos, muitas vezes obtidos de forma compulsória com a introdução do sistema escravocrata. Viver em cidades, ademais, traz novas implicações, e um contraste possível entre a cidade e o campo. As moradias distanciadas do campo passam a ser confrontadas por um novo padrão de sociabilidade instituído por habitações urbanas próximas umas das outras. Ter um vizinho de porta requer outras habilidades sociais e estratégias de bem-viver que não aquelas mais típicas dos padrões de sociabilidade dos camponeses, ao residirem a léguas da família vizinha. Ademais, os espaços mais abertos dos campos passam a ser contrastados com os muros que se tornam necessários nesta nova forma de sociedade tipificada pelas cidades. A própria cidade, aliás, precisa ser alimentada pelo campo e estimula neste último a produção de excedentes agrícolas, de modo que podemos ver como se retroalimentam as duas melodias, a que canta as singularidades de um antigo mundo agrícola já estabilizado na era anterior, e a que faz ressoar os novos acordes das civilizações urbanizadas da Antiguidade. Por fim, há muitas práticas que fazem a ligação entre as duas eras: o uso dos metais – primeiro o cobre, depois o bronze e por fim o ferro – é introduzido ao final do Neolítico, mas se tornará realmente imprescindível para as civilizações urbanizadas.

AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

A terceira grande revolução transversal ocorreu bem mais tarde, já no século XVIII d.C. Também ela mudaria a face do mundo. A Revolução Industrial é habitualmente referida a dois movimentos sucessivos: uma primeira revolução industrial que ocorre na segunda metade do século XVIII, em especial a partir da Inglaterra, e uma segunda revolução industrial que se afirma já na segunda metade do século XIX. As duas podem ser compreendidas como instituidoras de uma nova era – já Industrial – e também podem ser pensadas em relação às tecnologias através das quais os humanos se assenhoreiam respectivamente de duas das forças fundamentais da natureza: a força da gravidade e a força eletromagnética.

A primeira revolução industrial é aquela na qual os humanos tomam partido de uma compreensão mais adequada da força da gravidade, das leis do movimento, e da possibilidade de converter energia térmica em energia cinética. Podemos entendê-la como a revolução mecânica por excelência (ou como a revolução termomecânica). É a revolução dos transportes a vapor – barcos ou locomotivas –, da mecanização, da rápida passagem das manufaturas às primeiras fábricas, da substituição do tear manual pelo tear mecânico. As novas tecnologias introduzem, como nunca, a possibilidade do trabalho em série, e requerem novos tipos de trabalhadores a serem explorados por novos tipos de patrões. A primeira revolução industrial traz consigo seu nível científico correspondente: o das descobertas de Isaac Newton (1643-1727) acerca da lei da gravitação universal e das leis do movimento. Além disso, o entendimento em maior nível de precisão acerca das leis da termodinâmica, que se dá no decurso do século XIX, mas que já vinha sendo intuído desde o século anterior, passa a habilitar os cientistas e engenheiros a compreender e mesmo quantificar as trocas de energia, inclusive no que se refere às possibilidades de conversão de energia térmica em energia mecânica. O domínio intelectual destas forças e elementos da natureza – a força da gravidade, o movimento e a energia térmica – proporcionará toda uma sorte de novas invenções aptas a explorar o trabalho mecanizado e desenvolver novas possibilidades de

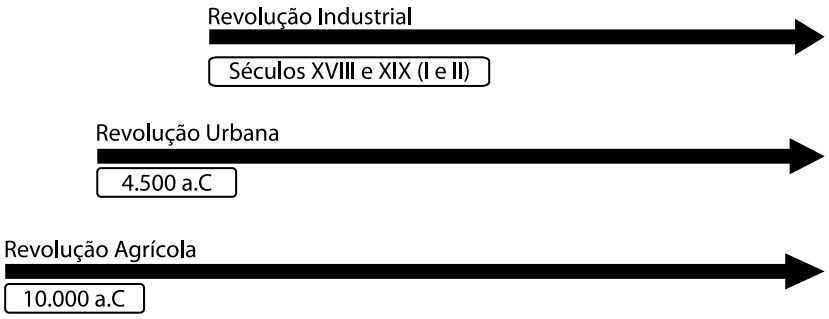
transporte.

Conforme veremos a seguir, o complemento deste primeiro movimento da Era Industrial viria em seguida, em uma nova fase, com a compreensão e domínio de outras forças físicas (em particular a eletricidade). Também aqui devemos visualizar estes dois movimentos da Revolução Industrial como superpostos polifonicamente. O primeiro movimento da Revolução Industrial não se interrompe quando se inicia o segundo. Podemos dar o exemplo dos automóveis. Um automóvel moderno, por exemplo, baseia-se em um motor de combustão interna. Este tipo de motor pode ser compreendido como uma das muitas máquinas térmicas, capazes de transformar a energia proveniente de uma reação química em energia mecânica. Toda a variedade de transportes que utilizam os vários tipos de combustíveis – e o petróleo será apenas um deles – é tributária da conquista termodinâmica proporcionada pela primeira revolução industrial. Não obstante, os primeiros automóveis de combustão interna a gasolina surgem no último quartel do século XIX (portanto na mesma época em que já adentramos a segunda revolução industrial, ou o segundo movimento da Revolução Industrial, tal como propomos). De todo modo, a novidade do domínio da energia térmica – e sua conversão em energia mecânica – é claramente da alçada da primeira revolução industrial. Ou seja, as linhas tecnológicas inauguradas pelo primeiro movimento da Era Industrial continuam a se desenvolver, produzindo novas invenções e conquistas tecnológicas, inclusive depois que ocorre o segundo feixe de inovações tecnológicas que já caracteriza a segunda revolução industrial (a revolução elétrica, por assim dizer). Entre as heranças da revolução termomecânica estão as várias linhagens de transportes movidos à propulsão química.

A segunda revolução industrial, complementando a revolução mecânica trazida pela compreensão da gravidade e pelo domínio das leis do movimento e da energia térmica, é a revolução da eletricidade. Seu componente intelectual pode ser tipificado pelas leis de Maxwell, que demonstram que a força magnética e a força elétrica são na verdade uma coisa só: a força eletromagnética. Com as invenções decorrentes deste novo estágio da compreensão das forças físicas, o mundo se eletrifica. As cidades se iluminam, não mais a chamas de lampião, mas com luz elétrica. Em breve o cenário da sociedade industrial será invadido pelo rádio, meios de reprodução fonográfica, televisão, telefone, eletrodomésticos de todo tipo. Não tardará a surgir o computador – invenção que se torna possível a partir da revolução elétrica da sociedade industrial, mas que logo ocupará um lugar central na futura Revolução Digital.

Com a eletromagnetização do mundo humano, o processo de industrialização iniciado na Inglaterra, no alvorecer da primeira revolução industrial, também se generaliza, e espalha-se por toda a Europa e pelas Américas, depois por outras partes do planeta. Há também um novo modelo de exploração do trabalho que se fortalece, e não é à toa que surgem também as resistências a esta exploração, concretizadas em movimentos sociais que envolvem as classes trabalhadoras. Entrementes, mais uma vez podemos compreender que a industrialização é apenas uma nova melodia que vem se sobrepor às melodias já instituídas ancestralmente pelas revoluções Agrícola e Urbana:

Figura 2. A Era Industrial sobrepõe-se à já bem estabelecida combinação entre o mundo rural e o mundo urbanizado.



Fonte: BARROS, 2022, p. 24).

Até aqui, a polifonia de revoluções vai se completando e se entrelaçando de maneira a integrar estes três ambientes – rural, urbano e industrial – ao mesmo tempo em que adentramos decisivamente esta que ficou conhecida como Era Industrial. Frisaremos sempre: a introdução de uma nova revolução no cenário do desenvolvimento tecnológico humano não cancela de forma alguma as conquistas anteriores. Ao contrário, uma nova revolução transversal costuma impulsionar as linhas relacionadas às revoluções anteriores em novas direções. Assim, os desenvolvimentos da revolução industrial no século XIX renovaram em novas bases a velha revolução agrícola, pois trouxeram a mecanização ao campo – tanto sob a forma de invenção de novas máquinas como os tratores (1890), como através da produção de insumos e materiais, como os fertilizantes, sem contar a dinamização do comércio e abastecimento agrícola que se tornou possível a partir dos novos meios de transporte proporcionados pelo desenvolvimento industrial. Da mesma forma, os efeitos da violência imposta pelas transformações da revolução agrícola são reeditados em novas bases pela agricultura mecanizada das sociedades industriais, incidindo sobre suas mais tradicionais vítimas: os animais.

Enquanto isso, esta mesma revolução industrial também permitiria que a revolução urbana se reeditasse em novas bases. As cidades se redefinem no mundo industrial: tornam-se extraordinariamente populosas, ampliam-se ao limite das conurbações. Concentradoras de gentes – e particularmente de trabalhadores – elas interagem apropriadamente com o emergente mundo das indústrias. Os trabalhadores são convidados a habitar áreas periféricas menos valorizadas ou guetos de todos os tipos; as fábricas encontram seu espaço no centro, na periferia ou no espaço de intermediação com o campo, de acordo com o que produzem e com demandas específicas de matéria prima e trabalho humano. A violência da revolução urbana se redesenha: as cidades industriais abrigam agora multidões de trabalhadores vivendo em condições ainda mais precárias do que nas cidades antigas, medievais ou da primeira modernidade.

Além disso, se as sucessivas revoluções tecnológicas reajustam as anteriores quando surgem, integrando-as em uma nova trama polifônica que as aprimora em novas direções, pode-se dizer que o mesmo também ocorre com as inúmeras tecnologias e inventos que já existem e que vão surgindo a cada nova Era. Apenas a título de exemplo, podemos seguir a trajetória dos relógios como invento constantemente readaptado. As civilizações mais antigas já conheciam relógios ou marcadores de tempo – como os relógios d'água, relógios de sol, ampulhetas e meridianas. A necessidade de marcar o tempo no interior de uma cidade,

de modo a regular as inúmeras atividades que nela se diversificam, é uma demanda da Era Urbana, principalmente se considerarmos que na Era Agrícola – na qual a atividade básica era a agricultura – bastava seguir o tempo natural que estava sempre à mostra para agricultores e pastores que, nos seus ambientes mais abertos, interagiam diretamente com o clima, estações, e oscilações visíveis dos dias e noites. De igual modo, certos comportamentos animais funcionavam como sinalizadores do tempo, a exemplo do célebre canto do galo.

A revolução urbana introduz, entre os ambientes abertos que continuam a existir, uma série de ambientes fechados, afastados da contemplação mais imediata dos fenômenos naturais; além disto acrescenta, à agricultura, várias outras atividades que não mais se valem do contacto direto com a natureza. Neste novo contexto, os marcadores de tempo adquirem uma função importante. Entrementes, na longa Era Urbana que se inaugura com as civilizações, o primeiro relógio mecânico apenas seria inventado no século XIII, na Europa Medieval. O tempo deste relógio mecânico passa a regular a vida das pessoas que habitam estas sociedades urbanas desde então – pessoas que passam a ouvir, do relógio da corporação de ofícios e das badaladas do sino da Igreja, a convocação para o trabalho ou para a missa. Contudo, cada cidade possui o seu tempo próprio. Um relógio mecânico, em cada cidade, podia ser ajustado de acordo com o movimento aparente do Sol que se mostrava visível nos seus horizontes, e em um mesmo momento duas cidades distintas, ainda que próximas e situadas no mesmo país, marcavam horários diferentes nos seus relógios. Mas veio a Era Industrial, e com ela inventos como o telégrafo (1835), as locomotivas (1804) e outros transportes que reduziram muito o tempo de percurso entre uma cidade e outra. Estes novos inventos – relacionados às tecnologias de transporte e comunicação que surgem com a primeira revolução industrial – impunham o ajuste dos relógios entre as diversas cidades, até onde isto fosse possível. Para isso foi criado o atual sistema de fusos horários, que vigora até hoje. Assim, tentava-se ajustar o tempo sincronizado que era requerido pela sociedade industrial com o meio-dia local de cada cidade, e a partir de 1883 espraiava-se pelo mundo uma nova prática de marcação do tempo e de sincronia relativa de todos os relógios mecânicos (depois eletrônicos). Esta prática, que tanto permite calcular a conversão do tempo de uma cidade para outra mais distanciada, como cria homogeneidade horária dentro de uma mesma região, é acordada mundialmente, sendo a que utilizamos até hoje em nossas sociedades contemporâneas, mas agora com nossos relógios digitais.

Mencionamos o exemplo do relógio para mostrar que, ao surgirem, as novas tecnologias e inventos vão reajustando muitas das tecnologias anteriores e integrando-as em uma nova trama polifônica. Oportunamente, veremos que isto acontecerá com os computadores que são inventados no auge da Era Industrial, mas que passarão a ser integrados de uma nova maneira com as sociedades digitais. Conforme vimos até aqui, uma revolução transversal – capaz de transformar a maior parte das sociedades humanas no planeta – não cancela ou se substitui à sociedade revolucionada pelas linhas tecnológicas anteriores, mas a elas se sobrepõe e as integra. Isso também ocorrerá com a Sociedade Digital. Trata-se de um mundo efetivamente novo. Não obstante, este mundo, introduzido por uma nova revolução, agrega-se ao que já existe e redireciona conquistas trazidas pelas revoluções anteriores com vistas a novas possibilidades.

A ERA DIGITAL

A Revolução Digital se apresenta como uma nova melodia na grande polifonia das revoluções transversais que afetaram de maneira generalizada a civilização planetária. O principal invento que a possibilita – na verdade, um invento ainda elétrico e *industrial* – é o computador. Mas o nível científico que a torna efetivamente possível é o da mecânica quântica, uma vez que, sem essa, não teria sido possível o vasto e extraordinário conjunto de tecnologias proporcionado pela microeletrônica, o que inclui tanto o aprimoramento dos computadores de uso pessoal como uma extensa gama de novos dispositivos eletrodomésticos, sem contar os relacionados à telefonia celular (aspecto indispensável para a nova sociedade digital).

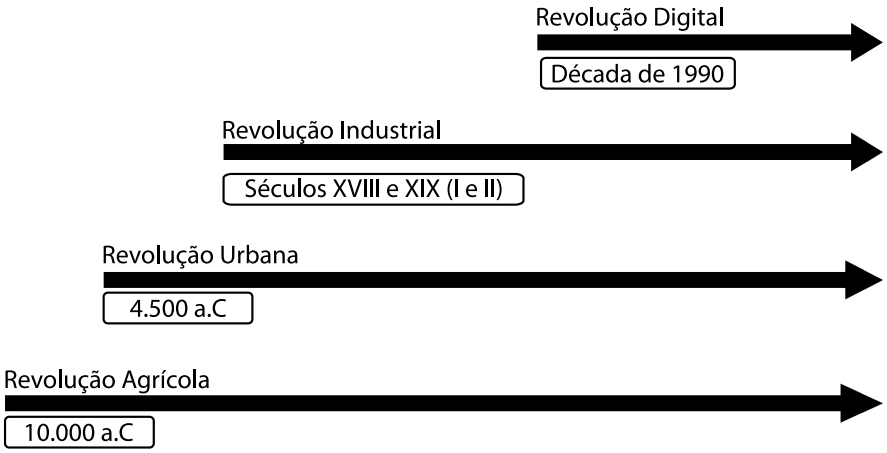
De fato, a mecânica quântica permitiu que as versões industriais de diversos aparelhos – como os rádios, as primeiras TVs e os próprios computadores – fossem aprimoradas em direções surpreendentes, e que seu peso e tamanho se reduzisse cada vez mais, no caso dos computadores. O dispositivo básico usado nas primeiras TVs, por exemplo, eram as válvulas. Da mesma forma, os primeiros computadores, como o ENIAC, funcionavam à base de válvulas e pesavam de 20 a 30 toneladas. Então surgiram os transistores, que exerciam a mesma função das válvulas com tamanho bem menor e sem o inconveniente de esquentar rapidamente. Logo vieram chips que passam a conter centenas ou milhares de transistores. Os microprocessadores comerciais começam a surgir a partir da década de 1970 e, na década de 1980, são aprimorados a tal ponto que permitem o surgimento e aperfeiçoamento dos computadores pessoais – fáceis de carregar e com capacidade invejável para desempenhar uma multiplicidade de funções. Nos anos 1990 estes se disseminam ao se tornarem acessíveis a faixas mais amplas da população. Logo discutiremos a passagem dos grandes computadores típicos do auge da Era Industrial para os computadores que prenunciam a revolução digital. Mas por ora queremos destacar que foi a mecânica quântica – com sua nova compreensão sobre o movimento dos fótons e elétrons – que permitiu a criação do primeiro transistor e todos os seus desenvolvimentos posteriores.

A própria tecnologia de emissão e recepção de sinais por satélites – que torna possível a interconexão necessária aos celulares e eleva a interconexão de computadores a um novo nível, já que não mais dependente da fiação telefônica fixa e tradicional – é decorrente da física quântica e da compreensão do elétron simultaneamente como partícula e e onda probabilística. Ao lado disto, o outro alicerce de compreensão científica necessário à tecnologia de interconexões através de satélites é o da Teoria da Relatividade Geral da Einstein (1915). Esta teoria geométrica da gravitação aprimorou a compreensão de que não existe um tempo único e absoluto, mas sim diversos tempos locais interferidos pela velocidade e posição de cada objeto, sendo esta última afetada pelos efeitos da gravidade. Para a transmissão de sinais via satélite, o cálculo de uma posição de transmissão ou recepção na Terra acarretaria erros de muitos quilômetros se fossem ignoradas as previsões da relatividade geral com relação às variações e distorções de cada tempo local em função da velocidade e da altura do objeto conectado, o que inviabilizaria a eficácia da comunicação da telefonia celular, os sistemas de navegação de alta precisão, e o sistema de localização GPS. Com estes e outros exemplos dados, pode-se dizer que a revolução digital torna-se possível a partir do conhecimento atingido por duas revoluções científicas paralelas e ainda não unificadas: a

física quântica e a física relativística.

Sintetizemos este grande movimento entre os patamares de conhecimentos científicos que demarcam o caminho da Era Industrial à Era Digital. Com o nível científico alcançado pelas leis de Newton e termodinâmica – e, mais tarde, com a revolução eletromagnética que se tornou possível com as equações de Maxwell – vimos que a compreensão e controle do mundo cotidiano havia se expandido admiravelmente, abrindo os portais para a Era Industrial com suas duas revoluções, a mecânica (ou termomecânica) e a elétrica. Com o nível alcançado pela combinação entre a física quântica e a física relativística, na primeira metade do século XX – portanto ainda no auge da Era Industrial – pôde-se agregar a isto tanto a compreensão do universo de escala microscópica dos elétrons e átomos, como uma melhor compreensão do universo de escala macroscópica das estrelas e galáxias. Este novo limiar abre os portais para a possibilidade de adentrar a Era Digital que iria se instalar décadas depois, em meados dos anos 1990. Para todos os casos, é sempre interessante observar como os desenvolvimentos de conhecimentos científicos e inovações tecnológicas produzidos em certa Era tanto ajudam a entretecer a sociedade típica de sua época, como a abrir caminhos e portais para a Era seguinte. A Era Digital não teria sido possível sem o franco desenvolvimento da Era Industrial, e esta dependeu de desenvolvimentos ocorridos nas Eras que a antecederam. Os elos e saltos tecnológicos permitem que os historiadores da ciência desfiem uma história polifônica nas quais algumas melodias se desdobram de outras e todas terminam por interagir entre si, sendo oportuno lembrar que progressos tecnológicos não necessariamente correspondem a concomitantes progressos sociais ou espirituais. As Guerras Mundiais, e seu último desfecho com a explosão das duas primeiras bombas atômicas, permanecem como alertas para uma humanidade que pode não sobreviver ao seu próprio progresso científico. De todo modo, para o que nos interessa neste momento, a revolução digital não teria sido possível sem a combinação e desenvolvimento paralelo da física quântica e da teoria da relatividade.

Figura 3. A Era Digital sobrepõe-se à já bem estabelecida combinação entre o mundo rural, o mundo urbanizado e o mundo industrializado.



Fonte: BARROS (2022, p. 30)

Com figura acima, sintetizamos a polifonia formada pelas sociedades regidas pelas revoluções que, relacionadas a distintos desenvolvimentos tecnológicos (e sociais), afetaram e beneficiaram a civilização a ponto de se afirmarem como fenômenos planetários acessíveis a grandes faixas da população e em cada país. Conforme podemos ver no esquema,

ao invés de se sucederem uma à outra, as novas eras vão se *sobrepondo*, e, nesta operação, a que veio por último termina por redefinir as revoluções anteriores e o conjunto de suas consequências, de modo que o mundo agrícola adquire um novo sentido ao ser intercalado por ambientes urbanizados, e ambos adquirem novos sentidos na Era Industrial, da mesma maneira que as indústrias e o rural/urbano também irão se apresentar com novas facetas na Era Digital. Do mesmo modo, embora os computadores tenham sido inventados em meados do século XX – e a Internet (ou o seu equivalente) tenha sido criada ainda na década de 1960 – é só na última década daquele século que podemos falar mais propriamente de uma sociedade digital.

A CRIAÇÃO DA TECNOLOGIA DIGITAL AINDA NÃO É REVOLUÇÃO DIGITAL

Neste momento, discutiremos alguns aspectos importantes para a plena compreensão sobre o que é a sociedade digital, e isto também nos ajudará, mais uma vez, a compreender os modos de entrelaçamento que relacionam as sucessivas revoluções planetárias, à maneira de uma grande polifonia. A primeira coisa a entender é que a mera invenção de tecnologia digital está longe de ser o mesmo que a revolução digital, e mais longe ainda de necessariamente implicar uma sociedade digital. A Revolução Digital, para ser concretizada, precisou de fato ter como uma das suas condições de realização a invenção das tecnologias digitais; mas não apenas isso, já que dependeu ainda de outros fatores. Além disso, as invenções digitais poderiam ter perfeitamente acontecido sem que tivesse ocorrido mais tarde uma revolução digital.

É importante termos em vista que o que efetivamente caracteriza uma revolução digital é o *espraiamento* – por amplos setores sociais e pelo planeta inteiro – da tecnologia digital, de suas linguagens e novas formas de comunicação, da circulação da informação e da produção de novos modelos de sociabilidade que se tornaram possíveis com os recursos digitais. Mas a invenção de tecnologias digitais precede a revolução digital – em alguns casos por algumas décadas –, e poderia não ter necessariamente conduzido a ela. Quanto à sociedade digital, esta é aquela que se estabelece a partir de uma revolução digital, e que se ergue sobre os patamares e possibilidades que se tornaram viáveis com a revolução que a instituiu. O que gera a civilização digital não é propriamente a tecnologia digital (ou não somente isto), mas principalmente o seu espraiamento – este sim, podendo ser considerado como um fator capaz de revolucionar toda uma sociedade. Deste modo, se a Revolução Digital institui a sociedade digital, é preciso considerar que as sociedades não-digitais podem coexistir perfeitamente com tecnologias digitais sem serem revolucionadas por elas. De fato, as tecnologias digitais foram, na verdade, invenções produzidas no próprio seio da sociedade industrial.

Além disso, conforme já vimos, uma revolução transversal – aqui entendida como o tipo de revolução que beneficia o planeta inteiro e termina por transmutá-lo radicalmente – não elimina os patamares atingidos pelas revoluções anteriores, mas sim os incorpora, sobrepõe-se a eles, acrescenta-lhe novos sentidos. Deste modo, a sociedade digital que foi instituída pela revolução de meados da década de 1990 não fez com que desaparecesse o ambiente industrial, assim como este último não havia implicado que desaparecesse o am-

biente rural/urbano anterior. Na sociedade digital as fábricas se informatizaram, e também o agronegócio; de sua parte, as cidades adquiriram novas feições, e a própria vida que nelas pulsa se digitalizou, informatizou-se, assumiu novas possibilidades de interação, sociabilizou-se de uma nova maneira. A história, conforme postulamos em nossa metáfora musical, pode ser comparada a uma polifonia formada por muitas melodias que se entrelaçam, respondendo umas às outras.

Fixemos, à partida, um vocabulário inicial para apoiar uma melhor compreensão do mundo digital. *Internet* é a rede mundial de computadores interconectados. Antes dela, vale lembrar que ocorreram outras experiências de redes de computadores, embora não mundiais e ainda direcionadas exclusivamente para finalidades específicas, tais como a utilização militar ou a formação de redes de pesquisa científica. A mundialização da rede de computadores, e o seu amplo e irrestrito acesso, é o que caracteriza mais propriamente a Internet – e o que insere esta já em uma sociedade tipicamente digital. Nos dias de hoje, a Internet recobre o planeta. Além disso, a *web* deve ser entendida como a totalidade do conteúdo que circula ou é produzido através desta rede mundial de computadores interconectados. Assim, a web – ou *World Wide Web*, simbolizada pela sigla www – é o sistema hipertextual que opera através da Internet. Web e Internet são conceitos articuláveis, mas não são sinônimos um do outro. Simplificando: a teia (web) estende-se sobre a rede (net). Esta articulação dá o tom do ambiente de interconexão que se disponibiliza a amplas faixas da população na sociedade instituída pela Revolução Digital

Esta complexa trama de documentos em hipermídia que são interligados e executados pela Internet pode se expressar através de hipertextos, vídeos, sons e imagens. Nestas formas básicas, e articulando-as, a Web disponibiliza as informações que podem ser acessadas através dos programas de computador que denominamos *navegadores*, tais como o *Internet Explorer*, o *Mozila Firefox*, o *Google Chrome*, o *Microsoft Edge*, entre outros. São programas como estes que estão aptos a descarregar as páginas que são disponibilizadas pelos servidores web ("sítios"), de modo a mostrá-las na tela do usuário (o "utilizador")

O importante disto, para a nossa presente reflexão, é que se cria aqui uma nova forma de espacialidade, já não mais física, mas sim virtual, sendo esta geradora de um novo modelo de 'movimento', através do qual o usuário se desloca sem sair do seu lugar ancorado no mundo físico. Como os vários documentos ou páginas da web estão articulados e interconectados através de hiperligações (links), o usuário – também referido como "internauta" – pode "navegar" entre os vários documentos dispostos na web, da mesma forma que, se esta possibilidade estiver disponibilizada para cada caso específico, é possível enviar informações de volta ao servidor de modo a produzir interação com os vários conteúdos. Além disto, diálogos *on-line* de ida e volta podem ser estabelecidos, tal como ocorre nos chats, sendo ainda frequente a comunicação através dos painéis que são expostos nas redes sociais. Deste modo, os conceitos de 'tempo' e de 'diálogo' – para além da nova noção de 'espaço virtual' – são redefinidos através da Web, já que um novo modo de lidar com o tempo pode ser costurado através de um diálogo no qual dois ou mais usuários conversam através de mensagens que se respondem umas às outras em momentos distintos. Uma vez que estes diálogos ficam registrados nos painéis provisórios dos chats ou nos registros menos impermanentes das redes sociais, é possível depois ler de uma só vez o diálogo que foi

produzido por dois interlocutores no interior de um tempo esgarçado.

Tudo isto – estas múltiplas possibilidades de utilizar o espaço e o tempo virtual, bem como as várias formas de interação e sociabilidade que se tornam possíveis a partir dos recursos digitais – faz do sistema Internet/Web não apenas um simples meio para disponibilizar e acessar informação, mas também um ambiente múltiplo de comunicação e interação social. Em tempo: quando ressaltamos a possibilidade de entender a Internet e a Web como partes de um sistema maior que terminou por se formar, queremos enfatizar que foi apenas com o casamento entre estas duas ordens tecnológicas – a Internet e a Web –, e com a sua disponibilização pública, que se tornou possível a revolução digital. O anúncio do físico Tim Berners-Lee, em 30 de abril de 1993, de que a *World Wide Web* seria livre para todos, sem custos, pode mesmo ser considerado o evento crucial nesta revolução – ou metaforicamente a sua "tomada da Bastilha". Podemos apenas especular como seria um mundo contemporâneo com a tecnologia digital bem desenvolvida, mas com o sistema Internet/Web apenas limitado a grupos específicos – mas é certo que, neste mundo, não teríamos uma sociedade digital como hoje temos. Teríamos, sim, tecnologia digital – mas não uma sociedade digital, pois não teria ocorrido a revolução digital e o espraiamento dos usos desta tecnologia por amplos setores de uma população planetária. Em nossa perspectiva metafórica, não teria surgido uma nova melodia na trama polifônica das revoluções tecnológicas planetárias já conhecidas.

Subjacente ao que vimos aqui, o *ciberespaço* pode ser definido como este lugar virtual onde a *Web* se apoia (ou flutua) com seus fluxos e fixos – para aqui utilizar um par conceitual introduzido pelo célebre geógrafo brasileiro Milton Santos em sua análise do espaço geográfico comum (SANTOS, 2013, p.155; SANTOS, 2007, p. 142; SANTOS, 2008, p. 102). A aplicação deste par conceitual ao ciberespaço é uma novidade proposta neste artigo, e atende à nova linha de pesquisas que aqui se abre. Neste caso, exemplos de fixos virtuais típicos são os blogs, sites, redes sociais de todos os tipos, navegadores e sites de busca, arquivos e bibliotecas digitais disponibilizados aos que percorrem a rede, os stands digitais de produtos através dos quais podem ser realizadas operações de compra e venda. Enquanto isso, os fluxos são as trocas de emails, a interação dos chats, as mensagens trocadas nas redes sociais, as idas e vindas dos usuários da Internet ao exercerem as novas formas de sociabilidade e a circulação da informação que é proporcionada pela sociedade digital. A peculiaridade da espacialidade digital é que os fluxos deixam registros gravados, que podem ou não ser apagados menos ou mais rapidamente. Ao contrário da conversa presencial no mundo físico, que depois de proferida desaparece no ar a não ser que seja gravada, os diálogos que ocorrem na web ficam registrados e podem ser lidos por outros – a não ser que seus interlocutores os apaguem (e ainda sim, por vezes ficam registrados na *Deep Web*). São, portanto, fluxos que podem se tornar fixos. Deste modo, pode-se dizer que, no mundo digital, os fluxos e fixos tendem a se confundir um pouco, pois as mensagens que caracterizam uma conversa podem permanecer públicas e se fixarem, ao mesmo tempo em que os blogs e sites podem ser apagados ou transformados, ora se mostrando como fixos, ora manifestando-se como fluxos.

Este mundo – onde "tudo o que já não é sólido se desmancha no ar" (BERMAN, 1986) – tem atrás de si uma história que o definiu e redefine todos os dias. Tal como já foi dito,

antes de ocorrer uma revolução digital, por destoante que isto possa parecer ao primeiro olhar, foi preciso se desenvolver uma tecnologia digital ainda no seio da sociedade industrial. Da mesma forma, o ambiente da Internet e a realidade digital não poderiam ter de fato surgido se a montagem de redes de computadores interconectados – embora ainda não imersos em um ambiente mundializado – não tivesse se realizado para outras finalidades nas últimas décadas da Era Industrial. Por fim, ao lado da intensividade de suas conquistas tecnológicas, a sociedade digital só pode surgir com a extensividade destas conquistas (seu acesso a amplos setores da população mundial). Tudo isto tem uma história (CASTELS, 2003; BRIGGS e BURKE, 2004; LEVY, 1999; BANKS, 2008). Ao melhor compreendê-la, podemos entender em maior grau de aprofundamento a sociedade digital, e, adicionalmente, como os próprios historiadores interagem com ela. A sociedade digital foi engendrada a partir da sociedade industrial – da mesma forma que tecnologias digitais já começam a ser desenvolvidas a partir da revolução elétrica trazida pela segunda revolução industrial. Por isso, é na sociedade industrial que podemos buscar os começos da sociedade digital. Isto, de resto, ocorre com todas as sucessivas eras: sociedade urbana terminou por ser engendrada pela sociedade agrícola, assim como as indústrias são preparadas na era precedente. Tal como em uma grande polifonia, as diversas eras se entrelaçam uma à outra.

AS TECNOLOGIAS DIGITAIS ANTES DA SOCIEDADE DIGITAL

Vamos acrescentar um último exemplo que permitirá reforçar a ideia de que a sociedade digital surge como uma nova melodia que se superpõe à sociedade industrial, mas ao mesmo tempo sendo beneficiada por avanços tecnológicos proporcionados por esta última. Conforme já foi ressaltado, os computadores são máquinas originadas na Era Industrial, particularmente na crista da segunda onda tecnológica que trouxe o controle da eletricidade ao mundo industrial. São produtos da confluência entre uma nova linguagem tecnológica – expressa em uma lógica binária apta a formular algoritmos de todos os tipos – e a linha tecnológica de máquinas e dispositivos eletrônicos produzidos durante a segunda revolução digital. Nesse sentido, os computadores implicam simultaneamente *softwares* (programas escritos na linguagem computacional) e *hardwares* – que se referem ao aparelho eletrônico 'computador', propriamente dito, que pode ser compreendido como um conjunto de componentes eletrônicos capazes de executar algoritmos de vários tipos.

O potencial multifuncional dos computadores é surpreendente: executam com ganhos inúmeras atividades mais simples – como a de produção e edição de textos (o que terminou por transformar as antigas e tradicionais máquinas de escrever mecânicas em meras peças de museus), até tarefas mais complexas de armazenamento e processamento de dados, cálculos realizados em larga escala e com grande velocidade, produção de realidades virtuais, execução de jogos de todos os tipos, edição de imagens fixas ou de imagens-movimento. Ligados às Intranets das décadas que preparam a revolução digital, os computadores se transformariam ainda em poderosos instrumentos de comunicação e de trocas de informação em sociedades que em breve seriam globalizadas, incorporando adicionalmente funções de telefonia e intercomunicação oral ou escrita. Ao lado disso, tornaram-se cada vez mais *multimodais*, pois são capazes de trabalhar com textos, imagens, sons, números, e com tudo isto junto. O aspecto mais notável é que os computadores evoluíram das grandes es-

truturas, que pareciam destinar originalmente os computadores a serem máquinas de grande porte que deveriam habitar as grandes instalações de empresas, às máquinas portáteis e pessoais – mais tarde incorporadas aos celulares – o que tornou os computadores uma tecnologia impulsionadora da revolução digital. Mas vamos entender o seu surgimento como máquinas elétricas de grande porte, ainda nas primeiras décadas do século XX – ou seja, em plena fase avançada da sociedade instituída pela segunda revolução industrial.

Embora a ideia de máquinas programáveis – que constituem essencialmente o que é um computador – tenha produzido inúmeras experiências anteriores, a invenção do computador pode ser ancorada, de forma mais simplificada, nas primeiras décadas do século XX. Os primeiros computadores de uso geral remontam de fato às décadas de 1930 e 1940 do século XX. Mas foi John von Neumann (1903-1957) quem de fato conseguiu transformar os meros calculadores eletrônicos em "cérebros eletrônicos", concebidos à imagem de um sistema nervoso central. Ao mesmo tempo, a memória que antes ficava exclusivamente armazenada em cartões perfurados passa a ser internalizada no próprio computador, abrigando tanto os programas como os dados. A linguagem binária, baseada em *zeros* e *uns*, também é assumida pela programação computacional. A arquitetura de Von Neumann ainda é a base dos computadores até hoje. Com isto, podemos perceber que a tecnologia digital básica, fundada com estas máquinas *programáveis* que são os computadores – e que exatamente neste aspecto se distinguem das máquinas comuns – já estava perfeitamente madura no auge da segunda fase do mundo industrial. Os computadores, portanto, eram complexos artefatos eletrônicos industriais carregados por essa grande onda que corresponde, em nossa trama polifônica, à melodia proporcionada pela segunda revolução industrial.

Adicionalmente, é importante chamar atenção para o fato de que os computadores não se tornaram possíveis apenas em decorrência do controle da eletricidade que se tornou viável com as conquistas científicas da segunda revolução industrial. Além de serem aparelhos eletrônicos, elaborados através de uma sofisticada engenharia, os computadores são resultados de desenvolvimentos matemáticos. Eles combinam tecnologia com uma nova linguagem matemática, e, mais recentemente, com a possibilidade de traduzir essa linguagem matemática em uma linguagem multimodal que lida com imagens, palavras e sons. O computador é simultaneamente uma construção eletrônica, matemática e semiótica. Matematicamente, a história dos computadores se inicia quando a matemática inglesa Ada Lovelace (1815-1852) publicou em 1843 um diagrama numérico que na verdade já era o primeiro algoritmo computacional (STEIN, 1985). Da mesma forma, antes de montar um dispositivo eletromecânico durante a Segunda Grande Guerra, com o objetivo de decifrar códigos secretos dos inimigos alemães, o matemático inglês Alan Turing (1912-1954) já tinha elaborado dispositivos imaginários que ficariam conhecidos como "máquinas de Turing" (HERKEN, 1994). A partir de sua contribuição, em 1936 foi adotado formalmente o termo "algoritmo" para designar um conjunto de instruções simples e precisas que são descritas através de um número finito de símbolos. Percebe-se aqui que, se o *hardware* do computador é uma obra de engenharia eletrônica, o *software* é uma realização da lógica e da matemática.

O destino dos computadores criados na Era Industrial, por outro lado, ainda estava por se escrever e traria novas surpresas. Ninguém poderia suspeitar, por exemplo, que um dia os computadores invadiriam a vida privada e a dimensão da vida pessoal, o que já nos

coloca no cerne da sociedade digital. Tanto é que John Von Neumann, um dos pioneiros da moderna computação, fez uma previsão após a Segunda Grande Guerra que lhe parecia configurar um desenvolvimento lógico dos acontecimentos. Ele previu, equivocadamente, que no futuro os computadores seriam tão gigantescos e caros que apenas grandes corporações, ou mesmo governos de países ricos, poderiam ter o privilégio de possuí-los.

O imaginário futurista dos computadores gigantescos foi típico da Era Industrial: suas utopias e distopias descrevem mundos com cidades populosas, poluídas e computadores gigantescos. Muitas destas elaborações imaginárias que aparecem nos filmes e obras literárias escritas no auge da última fase da Era Industrial fizeram previsões acertadas, com exceção do tamanho que previam para os computadores. O que ocorreu foi precisamente o contrário: com a invenção de microprocessadores, circuitos integrados e fibras óticas, os computadores foram diminuindo a cada geração de tamanho. Tornaram-se bem acomodáveis em pequenos apartamentos, transportáveis em discretas maletas e, por fim, atingiram a possibilidade de caberem na palma da mão, integrando-se aos celulares. Ao final deste processo de progressiva redução em seu tamanho e rápida expansão social dos dispositivos computacionais, o indivíduo comum passaria a ter ao seu dispor, a um toque dos dedos, todas as multifuncionalidades de um computador e de um celular, além de outras como as de máquinas fotográficas digitais e micro-câmeras de vídeo, além da concomitante integração à rede mundial de computadores.

Sem esta evolução surpreendente dos computadores para gerações de computadores pequenos, móveis e ajustáveis à vida comum, além de hiperconectados em uma rede mundial, a sociedade digital não teria sido possível, e ainda seríamos apenas uma sociedade industrial, embora com grandes, poderosos e sofisticados computadores nas mãos dos governos e grandes corporações. No novo mundo digital, temos dispositivos menores, mais rápidos, mais baratos, mais multifuncionais, mais inclusivos – mesmo que as desigualdades sociais estejam tão longe de ser resolvidas quanto estavam no mundo industrial e que a exclusão digital, em algum níel, ainda seja um problema a ser enfrentado.

Voltemos à última melodia acrescentada à nossa trama polifônica: aquela que já se refere a uma sociedade efetivamente digital. Além do seu novo perfil tecnológico e social, a sociedade digital não se define apenas pelo que já conquistou em termos de tecnologias, mas também pelo que está preste a conquistar. Estamos no limiar da possibilidade de desenvolvimento da inteligência artificial (AI). Os computadores poderão ainda se tornar autônomos e adquirirem um corpo capaz de se movimentar, aliando os avanços computacionais à conquista da robótica, e quem sabe aos desenvolvimentos da genômica. Ao mesmo tempo em que computadores autonomizados e os robôs estão prestes a invadir o seu mundo, os humanos também estão ao ponto de invadir o mundo artificial através de programas que poderão transportar suas mentes para universos virtuais. No auge das sociedades digitais, poderemos não apenas nos comunicar através de celulares, mas projetar holografias e conversar com nossos interlocutores distantes como se estivéssemos presentes de corpo e alma. Poderemos passar as férias em uma realidade virtual simulada, talvez construída por literatos aptos a criar mundos inexistentes ou por historiadores capazes de simular criteriosamente um tempo passado. Os filmes aos quais assistiremos em breve serão predominantemente em 3D. Reuniões de negócios poderão ser cada vez mais realizadas em

telepresença, enquanto aguardamos a próxima revolução transversal, que talvez nos traga o teletransporte, a regularização das viagens espaciais tripuladas, ou mesmo a exploração do tempo através de máquinas capazes de nos levar a outras épocas ou enxergá-las através de aparelhos tão fáceis de manusear como os aparelhos de TV de hoje em dia. Que novas melodias, podemos acrescentar, serão superpostas à nossa já diversificada trama polifônica, até o momento enriquecida pelas heranças e desdobramentos de quatro ou cinco grandes revoluções tecnológicas planetárias?

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vimos que cada uma das grandes revoluções discutidas neste artigo – a *revolução agrícola*, a *revolução urbana*, a dupla *revolução industrial* e, finalmente, a *revolução digital* – pode ser abordada como um caminho que se tornou possível a partir da conquista de um novo patamar de tecnologia e de compreensão do mundo, alcançado pelos seres humanos no seu progressivo sucesso em entender e controlar importantes forças e energias presentes na natureza. Conforme vimos no início deste artigo, o que foi a *revolução agrícola*, senão um caminho que pôde se desdobrar a partir de um novo entendimento humano do próprio processo vital, e de uma capacidade de controle da energia animal e dos ciclos da vida vegetal? Ao dominar a agricultura e a domesticação de animais, e ao agregar, a este patamar tecnológico, inéditas formas de sociabilidade, os seres humanos se prepararam para uma nova possibilidade: o soerguimento de grandes cidades e a coordenação de concentrados esforços humanos para a construção de grandes obras de alcance coletivo. A *revolução urbana*, conforme discutido, tornou-se possível a partir da revolução agrícola: sem o acúmulo de excedentes agrícolas, as cidades não poderiam ter surgido, e também não poderiam permanecer existindo posteriormente; mas também não as teríamos sem o desenvolvimento da metalurgia, sem o aprimoramento da matemática, e vários outros fatores. A revolução urbana, de todo modo, foi uma nova melodia que se superpôs à melodia da revolução agrícola.

A conquista ou ocupação de novos patamares de compreensão científica esteve intimamente ligada às revoluções tecnológicas a partir do período contemporâneo. Vimos que a elaboração das leis de Newton e das leis da Termodinâmica, em um primeiro momento, e das equações de Maxwell sobre o eletromagnetismo, em um momento subsequente, possibilitaram a dupla *revolução industrial*: a revolução termomecânica do século XVIII e a revolução elétrica da segunda metade do século XIX. A proposta deste artigo foi a de dar a compreender o conjunto das revoluções tecnológicas como uma *polifonia* na qual cada revolução introduziu uma nova melodia no ambiente harmônico anterior, sem eliminar ou substituir boa parte dos resultados precedentes – mas na verdade integrando-os de uma nova maneira. Foi assim que chegamos à *revolução digital* – possibilitada por um duplo patamar científico que foi atingido no século XX: a teoria da relatividade e a mecânica quântica – destacando-se nela o protagonismo do espraiamento da tecnologia dos computadores e celulares para setores efetivamente amplos da população humana.

Poderíamos nos perguntar, no que concerne a este conjunto de resultados, sobre o que ainda estaria por vir na trama polifônica das grandes revoluções tecnológicas. Provavelmente a *Teoria das Cordas* – surgida nas últimas décadas do século XX, mas ainda sem ressonâncias em novas tecnologias – ainda produzirá seus efeitos, abrindo possibilidades

para muito além da sociedade digital. Enquanto isso, algumas das teorias científicas já consolidadas e comprovadas – como a Teoria Restrita da Relatividade – mal começaram a render à humanidade suas contribuições tecnológicas. Da mesma maneira, a própria sociedade digital ainda deverá trazer grandes novidades nas próximas décadas – como a incorporação mais espraiada da robótica (e possivelmente da clonagem) aos recursos digitais e modelos de sociedade interconectada que já existem. Todavia, aqui já estaríamos especulando sobre um futuro possível, embora talvez não muito distante.

REFERÊNCIAS

BANKS, M. **On the Way to the Web: The Secret History of Internet and its Founders**. New York: Apress, 2008.

BARROS, J. D'A. **História Digital.** Petrópolis: Editora Vozes, 2022.

BERMAN, M. **Tudo o que é sólido desmancha no ar – a aventura da modernidade**. São Paulo: Companhia das Letras, 1986.

BRIGGS, A, e BURKE, P. **Uma história social da mídia: de Gutenberg à internet**. Rio de Janeiro: J. Zahar, 2004.

CASTELLS, M. **A galáxia da Internet: reflexões sobre a Internet, os negócios e a sociedade**. Rio de Janeiro: J. Zahar, 2003.

CLAIRE, J. Modality in western chant: an overview. *Plainsong and Medieval Music*. 17, nº 2 (2008): p.101–127.

DEVOTO, M. "Poliphony" In:. **Encyclopædia Britannica Online**. London, 2015. https://global.britannica.com/art/polyphony-music

HERKEN, R (ed). **The Universal Turing Machine - A Half-Century Survey**, Oxford: Oxford Science Publications, 1994.

HARARI, Y. N. **Sapiens – uma breve história da humanidade**. Porto Alegre: LPM, 2015.

HUW, S. GROUCUTT et al., Rethinking the Dispersal of Homo Sapiens Out of Africa. *Evolutionary Anthropology*. nº24 (2015), p.149-64.

JEPPESEN, K. **Counterpoint: The Polyphonic Vocal Style of the Sixteenth Century**. Translated by Glen Haydon, with a new foreword by Alfred Mann. New York: Dover, 1992.

KAKU, M. **Hiperespaço**. Rio de Janeiro: Rocco, 2000.

KELLY, Th. F. **Plainsong in the Age of Polyphony. Cambridge studies in performance practice**. New York: Cambridge University Press, 1992.

LEVY, K. **Gregorian Chant and the Carolingians**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998.

LÉVY, P. **Cibercultura**. São Paulo: Ed. 34, 1999.

PARIS, C. **O Animal Cultural**. São Carlos: EdUFSCAR, 2002.

PINTO, A.. **O Conceito de Tecnologia**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005.

SALZER, Felix. "The Historical Development of Tonal Coherence." In **Structural Hearing:**

Tonal Coherence in Music, New York: Dover, 1982. p.264–281.

SANTOS, M. **Técnica, Espaço, Tempo**. São Paulo: EDUSP, 2013.

SANTOS, Milton. **Espaço e Método**. São Paulo: EDUSP, 2008.

SANTOS, M. **O Espaço do Cidadão**. São Paulo: EDUSP, 2007.

STEIN, D. **Ada, a life and a legacy**. Cambridge, Mass: MIT Press, 1985.

TENZER, M. "Polyphony" In: REHDING, A. & RINGS, S. **Critical Concepts in Music Theory**. Oxford: Oxford U. O., 2019, p.602-650.

VAN DER WERF, H. "Early Western polyphony" In: **Companion to Medieval & Renaissance Music**. London: Oxford University Press., 1997.

Histórico

Recebido: 03 de abril de 2023.
Aceito: 02 de maio de 2023.
Publicado: 01 de agosto de 2023.

Como citar - ABNT

BARROS, José D'Assunção. A trama Polifônica das grandes Revoluções Tecnológicas – da revolução agrícola às revoluções industriais e à revolução digital. **Revista de Matemática, Ensino e Cultura – REMATEC**. Belém/PA, n. 44, e2023002, 2023. https://doi.org/10.37084/REMATEC.1980-3141.2023.n44.pe2023002.id505.

Como citar - APA

Barros, J. D. (2023). A trama Polifônica das grandes Revoluções Tecnológicas – da revolução agrícola às revoluções industriais e à revolução digital. *Revista de Matemática, Ensino e Cultura – REMATEC*, (44), e2023002. https://doi.org/10.37084/REMATEC.1980-3141.2023.n44.pe2023002.id505.

Número temático organizado por

Iran Abreu Mendes
Luis Andrés Castillo