

Supporting Information: Code

Supplementary S1: Example of R and BUGS code for the models used in estimating the parrot's geographic range. The code includes the CAR component of the model, accounting for effort and site covariates.

```
## Extract the spatial adjacencies:

muni = readOGR("DISTRIBUTION.shp") #read the municipality shapefile

muni.centroids <- getSpPPolygonsLabptSlots(muni) #extract the centroids

make_grid <- function(x, cell_diameter, cell_area, clip = FALSE) {
  if (missing(cell_diameter)) {
    if (missing(cell_area)) {
      stop("Must provide cell_diameter or cell_area")
    } else {
      cell_diameter <- sqrt(2 * cell_area / sqrt(3))
    }
  }
  ext <- as(extent(x) + cell_diameter, "SpatialPolygons")
  projection(ext) <- projection(x)
  # generate array of hexagon centers
  g <- spsample(ext, type = "hexagonal", cellsize = cell_diameter,
    offset = c(0.5, 0.5))
  # convert center points to hexagons
  g <- HexPoints2SpatialPolygons(g, dx = cell_diameter)
  # clip to boundary of study area
  if (clip) {
    g <- gIntersection(g, x, byid = TRUE)
  } else {
    g <- g[x, ]
  }
  # clean up feature IDs
  row.names(g) <- as.character(1:length(g))
  return(g)
}

hex <- make_grid(muni, cell_diameter = .5)
hex.centroids <- getSpPPolygonsLabptSlots(hex)

cell.id <- c()
for (a in 1:nrow(muni.centroids)){
  cell.id[a] <- which.min(sqrt((hex.centroids[,1]-
muni.centroids[a,1])^2+(hex.centroids[,2]-muni.centroids[a,2])^2))
}

## Convert the polygonal representation into a neighborhood list
hex.nb = poly2nb(hex)
num <- sapply(hex.nb,length)
sumNeigh <- sum(num)
adj = unlist(hex.nb)
```

```

#Data object specification in R
data <- list(muni1 = dat$IDENT, muni2 = dat2$IDENT, muni3 = dat3$IDENT,
            muni4 = dat4$IDENT, Y1 = dat$A_VINACEA, Y2 = dat2$A_VINACEA, Y3 =
            dat3$AVINACEA, Y4 = dat4$A_VINACEA, nMuni = length(muni), nObs1 =
            nrow(dat), nObs2 = nrow(dat2), nObs3 = nrow(dat3), nObs4 =
            nrow(dat4), Tobs = dat$EFFORT_MIN/60, SSee = dat2$NSPECIES, Tobs2 =
            dat2$DURATION.M/60, RLen = dat2$EFFORT.DIS, NPho = dat3$NPIC,
            NAud = dat3$NSONG, NAud2 = dat4$NSONGS, VegCover = VegCover,
            ArauCover = ArauCover, Alt = Altitude, nCell =
            nrow(hex.centroids), cell.id = cell.id, nMuni = length(muni), adj
            = adj, num = num, sumNeigh = sumNeigh)

# Model specification in BUGS language
cat(file = "model.txt", "
model {
  #CAR prior - spatial random effect
  for(j in 1:sumNeigh){weights[j] <- 1}
  spacesigma ~ dunif(0,5)
  spacetau <- 1/(spacesigma*spacesigma)
  delta[1:nCell] ~ car.normal(adj[],weights[],num[],spacetau)

### data model

  for (i in 1:nMuni){    #loop over sites
    mu[i] <- alpha[cell.id[i]] + beta[1] + beta[2]*VegCover[i] +
    beta[3]*ArauCover[i] + beta[4]*Alt[i]
    mu.lim[i] <- min(10, max(-10, mu[i]))
    logit(psi[i]) <- mu.lim[i]
    z[i] ~ dbern(psi[i])
  }

  for (n in 1:nObs1){      #loop over observations - Count Data
    e1[n] <- BETA[1]*Tobs[n]
    P1[n] <- 1-pow((1-0.5), e1[n])
    zP1[n] <- P1[n]*z[muni1[n]]
    Y1[n] ~ dbern(zP1[n])
  }

  for (j in 1:nObs2){      #loop over observations - eBird Data
    e2[j] <- BETA[2]*SSee[j] + BETA[3]*Tobs2[j] + BETA[4]*RLen[j]
    P2[j] <- 1-pow((1-0.5), e2[j])
    zP2[j] <- P2[j]*z[muni2[j]]
    Y2[j] ~ dbern(zP2[j])
  }

  for (k in 1:nObs3){      #loop over observations - Wikiaves data
    e3[k] <- BETA[5]*NPho[k] + BETA[6]*NAud[k]
    P3[k] <- 1-pow((1-0.5), e3[k])
    zP3[k] <- P3[k]*z[muni3[k]]
    Y3[k] ~ dbern(zP3[k])
  }

  for (h in 1:nObs4){      #loop over observations - Xeno-Canto data

```

```

        e4[h] <- BETA[7]*NAud2[h]
        P4[h] <- 1-pow((1-0.5), e4[h])
        zP4[h] <- P4[h]*z[muni4[h]]
        Y4[h] ~ dbern(zP4[h])
    }

beta[1] ~ dunif(-10,10)
beta[2] ~ dunif(-10,10)
beta[3] ~ dunif(-10,10)
beta[4] ~ dunif(-10,10)

for (b in 1:7){
    BETA[b] ~ dnorm(0,0.0001) I(0,10000)
}

#compute the mean detection probability of each dataset:
muP1 <- mean(P1[])
muP2 <- mean(P2[])
muP3 <- mean(P3[])
muP4 <- mean(P4[])

}

#Back to R language:

#Specification of Initial Values
inits = function() {list(z = rep(1, data$nMuni))}
params <- c("beta", "psi", "z", "alpha", "muP1", "muP2", "muP3", "muP4",
            "muP5", "muP6", "muP7", "muP8", "Y2", "Y4", "Y6", "Y8",
            "spacesigma", "delta")

#MCMC settings
nc <- 3;    nb <- 150000;    ni <- 200000;    nt <- 100

out <- bugs(data = data, inits = inits, parameters.to.save = params,
            model.file = "model.txt", n.chains = nc, n.iter = ni,
            n.burnin = nb, n.thin = nthin, debug = TRUE)

```

Table S1: Compilation of the available counts for *Amazona brasiliensis* with the respective reference.

Year	Counted number of individuals	Source of information
1989	1,581	Scherer-Neto, 1989
1993	1,550	Martuscelli, 1995
1994	1,988	Scherer-Neto and Toledo, 2007
1995	3,672	Scherer-Neto and Toledo, 2007
1996	2,294	Scherer-Neto and Toledo, 2007
1997	1,548	Scherer-Neto and Toledo, 2007
1998	1,965	Scherer-Neto and Toledo, 2007
1999	2,512	Scherer-Neto and Toledo, 2007
2000	3,452	Scherer-Neto and Toledo, 2007
2003	3,657	Galetti et al., 2006; SPVS, 2003
2004	6,589	Galetti et al., 2006; SPVS, 2004
2005	4,870	SPVS, 2005
2006	3,000	SPVS, 2006
2007	4,821	SPVS, 2007
2008	4,100	SPVS, 2008
2009	5,099	SPVS, 2009
2010	5,000	SPVS, 2010
2011	6,412	SPVS, 2011
2012	4,141	SPVS, 2012
2013	6,086	SPVS, 2013
2014	7,451	SPVS, 2014
2015	9,176	SPVS, 2015
2016	8,380	SPVS, 2016
2017	7,339	SPVS, 2017
2018	9,112	SPVS, 2018
2019	7,493	SPVS, 2019

Table S2: Compilation of the available counts for *Amazona pretrei* with the respective reference.

Year	Counted number of individuals	Source of information
1971	10,000-30,000	Forshaw and Cooper, 1978; cited by Varty et al., 1994
1972	10,000	W. Belton in Silva 1989; cited by Varty et al., 1994
1975	5,000	Silva, 1981
1980	1,000	Silva, 1981
1981	10,000	R. Reis verb to N. Varty; cited by Varty et al., 1994
1983	10,000	Belton, 1984
1986	8,000	COA pers. commun. to N. Varty; cited by Varty et al., 1994
1988	10,000	COA pers. commun. to N. Varty; cited by Varty et al., 1994
1989	9,500-14,000	COA pers. commun. to N. Varty/Scherer Neto 1991; cited by Varty et al., 1994
1990	30-70	J. Mahler pers. commun. to N. Varty/Scherer Neto 1991; cited by Varty et al., 1994
1991	15-200	COA pers. commun. to N. Varty/Scherer Neto 1991; cited by Varty et al., 1994
1992	7,000-7,500	Varty et al., 1994
1993	7,500-8,000	Varty et al., 1994
1994	8,000-8,500	Varty et al., 1994
1995	8,593	Martinez and Prestes, 2008
1996	11,590	Martinez and Prestes, 2008
1997	19,141	Martinez and Prestes, 2008
1998	19,913	Martinez and Prestes, 2008
1999	19,517	Martinez and Prestes, 2008
2000	16,232	Martinez and Prestes, 2008
2001	16,897	Martinez and Prestes, 2008
2002	18,418	Martinez and Prestes, 2008
2003	17,162	Martinez and Prestes, 2008
2004	16,772	Martinez and Prestes, 2008
2005	20,437	Martinez and Prestes, 2008
2006	21,598	Martinez and Prestes, 2008
2007	18,800	Martinez and Prestes, 2008
2008	21,311	Schunck et al., 2011
2009	15,658	Schunck et al., 2011
2010	16,657	Schunck et al., 2011

2011	21,653	Schunck et al., 2011
2014	15,685	Tella et al., 2016 citing unpublished data
2017	20,128	ICMBio, 2020
2018	18,425	ICMBio, 2020
2019	19,872	ICMBio, 2020

Table S3: Compilation of the available counts and abundance estimates for *Amazona vinacea* with the respective reference.

Year	Counted number of individuals	Estimated number of individuals	Source of information
2001	464	—	Abe, 2004; Cockle et al., 2007
2002	899	—	Abe, 2004
2003	906	—	Abe, 2004
2004	514	—	Abe, 2004
2005	423	—	Cockle et al., 2007; Segovia and Cockle, 2012
2007	203	—	Segovia and Cockle, 2012
2008	214	—	Segovia and Cockle, 2012
2009	214	—	Segovia and Cockle, 2012
2010	125	—	Segovia and Cockle, 2012
2011	911	—	Prestes et al., 2014; Segovia and Cockle, 2012
2012	747	—	Prestes et al., 2014
2013	728	—	Prestes et al., 2014
2014	1,752	—	N. Prestes, pers. commun.
2015	3,160	—	N. Prestes, pers. commun.
2016	3,888	7,789 (c.i. 6,586- 9,184)	Zulian et al., 2020
2017	4,084	8,483 (c.i. 7,181- 9977)	Zulian et al., 2020
2018	4,758	—	ICMBio, 2020

References:

- Abe, L.M., 2004. Caracterização do hábitat do papagaio-de-peito-roxo *Amazona vinacea* (Kuhl, 1820) no município de Tunas do Paraná, região metropolitana de Curitiba, Paraná (Dissertação de mestrado: Ciência do solo). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- Belton, W., 1984. Birds of Rio Grande do Sul, Brazil. Part 1. Rheidae through Furnariidae. Bulletin of the American Museum of Natural History, New York.
- Cockle, K., Capuzzi, G., Bodrati, A., Clay, R., del Castillo, H., Velázquez, M., Areta, J.I., Fariña, N., Fariña, R., 2007. Distribution, abundance, and conservation of Vinaceous Amazons (*Amazona vinacea*) in Argentina and Paraguay. Journal of Field Ornithology 78, 21–39. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2006.00082.x>
- Forshaw, J.M., Cooper, W.T., 1978. Parrots of the world, Second Edition. ed. Lansdowne Press, Melbourne, Australia.
- Galetti, M., Schunck, F., Ribeiro, M., Paiva, A.A., Toledo, R., Fonseca, L., 2006. Distribuição e tamanho populacional do papagaio-de-cara-roxa *Amazona brasiliensis* no estado de São Paulo. Revista Brasileira de Ornitologia 239–247.
- ICMBio, 2020. Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Papagaios - PAN Papagaios: Matriz de Monitoria.
- Martinez, J., Prestes, N.P., 2008. Tamanho populacional, tamanho médio de bando e outros aspectos demográficos do papagaio-charão (*Amazona pretrei*), in: Martinez, J., Prestes, N.P. (Eds.), Biologia Da Conservação: Estudo de Caso Com Papagaio-Charão e Outros Papagaios Brasileiros. UPF Editora, Passo Fundo, RS.
- Martuscelli, P., 1995. Ecology and conservation of the Red-tailed Amazon *Amazona brasiliensis* in south-eastern Brazil. Bird Conservation International 5, 405–420. <https://doi.org/10.1017/S095927090000112X>
- Prestes, N.P., Martinez, J., Kilpp, J.C., Batistela, T., Turkievicz, A., Rezende, É., Gaboardi, V.T.R., 2014. Ecologia e conservação de *Amazona vinacea* em áreas simpátricas com *Amazona pretrei*. Ornithologia 6, 109–120.
- Scherer-Neto, P., 1989. Contribuição à biologia do papagaio-de-cara-roxa *Amazona brasiliensis* (Linnaeus, 1758) (Psittacidae, Aves) (Dissertação de Mestrado: Zoologia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- Scherer-Neto, P., Toledo, M.C., 2007. Avaliação populacional do papagaio-de-cara-roxa (*Amazona brasiliensis*) (Psittacidae) no Estado do Paraná, Brasil. Ornithologia Neotropical 18, 379–393.
- Schunck, F., Somenzari, M., Lugarini, C., Soares, E.S., 2011. Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Papagaios da Mata Atlântica. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, Brasília.
- Segovia, J.M., Cockle, K.L., 2012. Conservación del Loro vinoso (*Amazona vinacea*) en Argentina. El hornero 27, 027–037.
- Silva, F., 1981. Contribuição ao conhecimento da biologia do papagaio charão, *Amazona pretrei* (TEMMINCK, 1830) (Psittacidae, Aves). Iheringia. Sér. Zool. 58, 79–85.
- SPVS, 2019. Relatório Anual 2019. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.

- SPVS, 2018. Relatório Anual 2018. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2017. Relatório Anual 2017. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2016. Relatório Anual 2016. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2015. Relatório Anual 2015. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2014. Relatório Anual 2014. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2013. Relatório Anual 2013. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2012. Relatório Anual 2012. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2011. Relatório Anual 2011. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2010. Relatório Anual 2010. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2009. Relatório Anual 2009. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2008. Relatório Anual 2008. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2007. Relatório Anual 2007. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2006. Relatório Anual 2006. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2005. Relatório Anual 2005. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2004. Relatório Anual 2004. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- SPVS, 2003. Relatório Anual 2003. Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental, Curitiba, PR.
- Tella, J.L., Dénes, F.V., Zulian, V., Prestes, N.P., Martínez, J., Blanco, G., Hiraldo, F., 2016. Endangered plant-parrot mutualisms: seed tolerance to predation makes parrots pervasive dispersers of the Parana pine. *Scientific Reports* 6, 31709. <https://doi.org/10.1038/srep31709>
- Varty, N., Bencke, G.A., Bernardini, L.M., Cunha, A.S., Dias, E.V., Fontana, C.S., Guadagnin, D.L., Kindel, A., Kindel, E., Raymundo, M.M., Richter, M., Rosa, A.O., Tostes, C.A.S., 1994. Conservação do papagaio-charão *Amazona pretrei* no sul do Brasil: um plano de ação preliminar. Divulgações do Museu de Ciências e Tecnologia UBEA/PUCRS: EDIPUCRS, Porto Alegre, RS.
- Zulian, V., Müller, E.S., Cockle, K.L., Lesterhuis, A., Tomasi Júnior, R., Prestes, N.P., Martinez, J., Kéry, M., Ferraz, G., 2020. Addressing multiple sources of uncertainty in the

estimation of global parrot abundance from roost counts: A case study with the
Vinaceous-breasted Parrot (*Amazona vinacea*). Biological Conservation 248, 108672.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108672>